The background is a vibrant space-themed illustration. It features a large, detailed Earth in the lower-left quadrant, showing continents and oceans. In the upper-right, a bright, glowing yellow sun or star is partially visible. Several glowing yellow orbital paths curve across the dark blue and purple space, which is filled with numerous small, distant stars. The overall aesthetic is futuristic and scientific.

**Матеріали
XIII Всеукраїнської
науково-практичної конференції
здобувачів вищої освіти
та молодих вчених
з автоматичного управління**

*присвячена
Дню ракетно-космічної галузі України*

**13-15 квітня 2026 р.
Херсон-Хмельницький**

Міністерство освіти і науки України
Херсонський національний технічний університет
Хмельницький національний університет
Вінницький національний медичний університет
ім. М. І. Пирогова
Вінницький національний технічний університет
Київський національний університет технологій і дизайну
Кременчуцький національний технічний університет
ім. Михайла Остроградського
Луцький національний технічний університет
Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
Сумський державний університет
Херсонський державний аграрно-економічний університет
Херсонська державна морська академія

**Матеріали
XIII Всеукраїнської
науково-практичної конференції
здобувачів вищої освіти
та молодих вчених
з автоматичного управління**

присвячена Дню ракетно-космічної галузі України



13-15 квітня 2026р.
Херсон- Хмельницький

УДК 681.5
М 34

М 34 Матеріали XIII Всеукраїнської науково-практичної конференції здобувачів вищої освіти та молодих вчених з автоматичного управління присвяченої Дню ракетно-космічної галузі України. Ред. Г.В. Рудакової та ін. Херсон-Хмельницький: Видавництво ФОП Вишемирський В.С., 2026. 135 с.

ISBN 978-617-8187-77-4 (електронне видання)

Тези наукової конференції містять результати наступних досліджень: автоматизоване управління технологічними процесами; комп'ютеризовані системи та мережі перетворення та обробки інформації; інформаційно-аналітичні та інформаційно-керуючі системи; системи відображення інформації і комп'ютерні технології; новітні технології в енергетичних системах та в галузі енергозбереження; прогнозування та запобігання техногенних та екологічних катастроф; використання сучасних технологій для підвищення ефективності і безпеки в транспортній галузі (автомобільні, морські, залізничні та авіаперевезення); використання нових інформаційних технологій в медичній галузі; сучасні комп'ютеризовані засоби в галузі механічної інженерії і мехатроніки.

Роботи друкуються в авторській редакції, в збірці максимально зменшено втручання в обсяг та структуру відібраних до друку матеріалів. Редакційна колегія не несе відповідальність за достовірність інформації, що надано в рукописах, та залишає за собою право не розподіляти поглядів деяких авторів на ті чи інші питання.

ПРОГРАМНИЙ КОМІТЕТ

ГОЛОВА:

Рудакова Г.В. – д.т.н., професор, професор кафедри АРМ, ХНТУ (м. Херсон).

ЧЛЕНИ КОМІТЕТУ:

Бісікало О.В. – д.т.н., професор, завідувач кафедри АІТ ВНТУ (м. Вінниця);

Букетов А.В. – д.т.н., професор, завідувач кафедри ТТС ХДМА (м. Херсон);

Дмитрієв Д.О. – д.т.н., професор, професор кафедри АРМ ХНТУ (м. Херсон);

Кулик А.Я. – д.т.н., професор, завідувач кафедри БІтаМА, ВНМУ ім. М.І. Пирогова (м. Вінниця);

Конох І.С. – д.т.н., професор, професор кафедри АІС КрНУ ім. М.Остроградського (м. Кременчук);

Прус В.В. – д.т.н., професор, завідувач кафедри електротехніки КрНУ ім. М.Остроградського (м. Кременчук);

Шарко О.В. – д.т.н., професор, професор кафедри ТТС ХДМА (м. Херсон);

Шевченко І.В. – д.т.н., професор, професор кафедри АІС КрНУ ім. М.Остроградського (м. Кременчук);

Шушура О.М. – д.т.н., професор, професор кафедри ЦТЕ (АПЕПС), НН ІАТЕ, НТУУ КПІ ім. І. Сікорського (м. Київ);

Баклан І.В. – к.т.н., доцент, доцент кафедри інформатики і програмної інженерії НТУУ КПІ ім. Ігоря Сікорського (м. Київ);

Єдинович М.Б. – к.т.н., доцент, доцент кафедри АРМ ХНТУ (м. Херсон);

Лебеденко Ю.О. – к.т.н., доцент, доцент кафедри ІКТ КНУТД (м. Київ);

Поливода О.В. – к.т.н., доцент, доцент кафедри АРМ ХНТУ (м. Херсон);

Поліщук В.М. – к.т.н., доцент, доцент кафедри АРМ ХНТУ (м. Херсон);

Решетило О.М. – к.т.н., доцент, доцент кафедри АКІТ ЛНТУ (м. Луцьк);

Кулінченко Г.В. – к.т.н., доцент, доцент кафедри комп'ютеризованих систем управління СумДУ (м. Суми).

ОРГАНІЗАЦІЙНИЙ КОМІТЕТ

ГОЛОВА:

Сарафаннікова Н.В. – к.т.н., доцент, доцент кафедри АРМ, ХНТУ (м. Херсон).

ЧЛЕНИ КОМІТЕТУ:

Димова Г.О. – к.т.н., доцент кафедри менеджменту, маркетингу та ІТ, ХДАЕУ (м. Херсон);

Сімінченко І.П. – ст. викладач кафедри АРМ, ХНТУ (м. Херсон).

АДРЕСА ОРГКОМІТЕТУ

73008, Україна, м.Херсон, Бериславське шосе, 24,
ХНТУ, 3 корп., ауд. 309, 314, кафедра автоматизації, робототехніки і мехатроніки,
тел. (0552) 32-69-37, 32-69-57
29016, Україна, м. Хмельницький, вул. Інститутська, 11.

ЗМІСТ

СЕКЦІЯ «АВТОМАТИЗОВАНЕ УПРАВЛІННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИМИ ПРОЦЕСАМИ»

Білий Я.Ю., Сарафаннікова Н.В. Автоматизація парового котла ДКВР 6,5-13	7
Дукач А.Ю., Рудакова Г.В. Проблеми керування вертикальними автоклавами при термічній обробці плодоовочевих консервів	10
Колесник К.А., Поливода О.В. Інтелектуальна система прогнозування та оптимізації енергоспоживання будівлі на основі IoT та машинного навчання	12
Пітеров О.О., Єдинович М.Б. Автоматизація систем центрального кондиціонування виробничих приміщень	18
Рудченко М.Р., Сімінченко І.П. Розробка інформаційно-аналітичної системи на основі цифрового двійника для моніторингу технічного об'єкта	20
Сокол О.П., Сарафаннікова Н.В. Розробка системи автоматичного керування вологістю гофрокартону на основі програмованого логічного контролера	22

СЕКЦІЯ «МОДЕЛЮВАННЯ ТА ОПТИМІЗАЦІЯ СИСТЕМ УПРАВЛІННЯ»

Lazarieva N.M. Intelligent Control With Invariant Identification of Nonlinear Objects	26
Грушевський О.Ф., Бондаренко С.Г., Толстопалова Н.М., Шахновський А.М. Динаміка адсорбційного очищення води від органічних барвників у нерухомому шарі активованого вугілля: обчислювальний експеримент	28
Кривенко В.В., Голубек О.В. Програмне забезпечення для статистичного моделювання методом Монте-Карло для оцінки точності БІНС ракети-носія надлегкого класу	30
Сімінченко І.П., Поніч Д.П. Застосування цифрових двійників для прогнозування технічного стану обладнання	32
Yakobchuk I.V., Ashchepkova N.S. Kinematic Modeling and AI-Based Control of a Six-Dof Robotic Manipulator	34

**СЕКЦІЯ «КОМП'ЮТЕРИЗОВАНІ СИСТЕМИ ТА МЕРЕЖІ ПЕРЕТВОРЕННЯ
ТА ОБРОБКИ ІНФОРМАЦІЇ»**

Бухало Є.Ю., Шушура О.М. Моделювання інтеграції ERP-системи Odoo з маркетплейсом OLX на основі UML	38
Голуб В.О., Омельчук А.А. Оцінка ефективності управління ресурсами в розподілених системах на базі платформи VOINC	41
Луценко Н.О., Гладченко О.В. Технології мережевого захисту цілісності та конфіденційності Big Data у фінансовому секторі	43
Ніжегородцев В.О. Реалізація Tesseract OCR у розпізнаванні цифр в реальних сценаріях	47

Пашенко М.І., Шушура О.М. Алгоритмічні стратегії автоматизованого трейдингу фінансових інструментів	49
---	----

СЕКЦІЯ «ІНФОРМАЦІЙНО-АНАЛІТИЧНІ ТА ІНФОРМАЦІЙНО-КЕРУЮЧІ СИСТЕМИ»

Гладкий Д.С., Малихін І.В. Моделювання та оптимізація логістичних процесів виробничої лінії з використанням імітаційного моделювання	53
Корнієнко О.О., Дон Н.Л. До питання впровадження геоінформаційних систем у відновлюваній електроенергетиці	55
Korniienko O., Kozub N. Algorithmic Support for an Intelligent Technology of Personalized Investment Portfolio Optimization	58
Кузів Я.С., Димова Г.О. Інформаційні технології автоматизації B2B-процесів та захисту даних підприємства в умовах Євроінтеграції	60
Медвицький О.В., Козуб Н.О. Архітектура та алгоритмічні компоненти системи сценарно-прецедентного аналізу регіональних трансформацій	64
Назмєєв І.О., Поливода О.В. Аналітичний огляд методів спостереження за рухомими об'єктами	66

СЕКЦІЯ «СИСТЕМИ ВІДОБРАЖЕННЯ ІНФОРМАЦІЇ І КОМП'ЮТЕРНІ ТЕХНОЛОГІЇ»

Боскін О.О., Сидорчук Д.О., Калатун Є.В. Аналіз сучасних генеративних моделей штучного інтелекту для синтезу відеоінформації на прикладі Pika	73
Боскін О.О., Сидорчук Д.О., Калатун Є.В. Використання сучасних нейромережових технологій для створення відеоконтенту з метою ефективного відображення інформації	77
Боскін О.О., Сидорчук Д.О., Калатун Є.В. Порівняльний аналіз сучасних генеративних моделей штучного інтелекту для синтезу відео на прикладі Gemini Veo та Pika	82

СЕКЦІЯ «НОВІТНІ ТЕХНОЛОГІЇ В ЕНЕРГЕТИЧНИХ СИСТЕМАХ ТА В ГАЛУЗІ ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ»

Вершков А.А., Андропова О.В. Особливості встановлення фотоелектричних систем на основі двосторонніх модулів ..	88
Курак В.В., Грисевич Р.І. Оцінка річного обсягу генерації електричної енергії вітроустановками	90
Степанчиков Д.М., Денисенко Д.О., Васильченко С.О. Оптимізація параметрів енергоефективності магістральних ліній електропередачі шляхом впровадження дволанцюгових однорадіусних коаксіальних конструкцій	92
Топалов О.І., Поливода В.В. Сучасна система автоматичної синхронізації суднових генераторних агрегаторів	97

**СЕКЦІЯ «СУЧАСНІ ТЕХНОЛОГІЇ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ
І БЕЗПЕКИ В ТРАНСПОРТНІЙ ГАЛУЗІ»**

Дергачов К.О., Хісматулін В.Ш. Інтеграція плати передпідсилювача у приймальний модуль датчика РТД-С	102
Ларін К.П., Єдинович М.Б. Перспективи застосування іонних двигунів	106
Пеек А.В., Сімінченко І.П. Використання технології цифрового двійника для моделювання технічних систем мехатроніки	108
Юрочкін В.В., Лебеденко Ю.О. Адаптивний метод виявлення відмов сенсорів на основі відстані Махаланобіса для автономних наземних платформ у складних умовах експлуатації	110

СЕКЦІЯ «НОВІТНІ ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЇ В МЕДИЧНІЙ ГАЛУЗІ»

Дашковська А.О., Войт А.Р., Юрій Р.Ф. Розробка мобільного додатку для “цифрового фенотипування” (digital phenotyping) у прогнозуванні рецидивів депресивних розладів	113
Пономаренко В.В., Юрій Р.Ф. Смарт-годинники та мобільні додатки як інструмент цифрового моніторингу життєвих показників пацієнтів	116

**СЕКЦІЯ «СУЧАСНІ КОМП'ЮТЕРИЗОВАНІ ТЕХНОЛОГІЇ
В ГАЛУЗІ МЕХАНІЧНОЇ ІНЖЕНЕРІЇ І МЕХАТРОНІКИ»**

Брильов І.С., Дмитрієв Д.О. Імітаційний синтез автоматизованих виробничих ділянок вузлів систем живлення ДВЗ	120
Дмитрієв Д.О., Катріч С.Г., Кузмічов М.Ф. Залежність мікротвердості деталей від стратегій автоматизованого 3D друку титановим дротом	125
Дмитрієв Д.О., Кириченко А.М., Кузмічов М.Ф. Конструктивні удосконалення обладнання програмно-керованого 3D-друку металевим дротом	128
Дмитрієв Д.О., Кириченко А.М., Русанов С.А., Махник В.В. Моделювання логістичних процесів металургійних виробництв на рівні «цифрової тіні»	131

СЕКЦІЯ
«АВТОМАТИЗОВАНЕ УПРАВЛІННЯ
ТЕХНОЛОГІЧНИМИ ПРОЦЕСАМИ»

АВТОМАТИЗАЦІЯ ПАРОВОГО КОТЛА ДКВР 6,5-13

Один із найпоширеніших типів котлів – паровий котел. Він перетворює теплову енергію з палива, яке він використовує для нагрівання води всередині котла на пару, яку потім можна використовувати для різних промислових і побутових цілей. Можна сказати, що паровий котел – це ємність під тиском, яка використовує теплообмін для перетворення води на пару для різних цілей. Парові котли випускаються у широкому діапазоні розмірів – від компактних моделей до потужних промислових установок для складних і масштабних завдань [1, 2].

Основним елементом котла можна назвати його поверхню нагрівання – поверхня металевих стінок, що омиваються з одного боку гарячими газами, а з іншого водою. У сучасних котлах поверхня нагрівання виконана у вигляді труб, приєднаних до барабанів і колекторів.

Для нагрівання води паровий котел спалює різні види палива. Пара утворюється внаслідок поєднання тепла з водою. При цьому використовуються три основні способи передачі теплової енергії: випромінювання, конвекція та теплопровідність (кондукція) [3].

Парові котли відрізняються між собою конструкцією, пристосованістю до умов експлуатації, типом трубої системи, видом використовуваного палива та рівнем вихідного тиску пари. Коли парові котли тільки з'явилися, вони мали приблизно таку ж ефективність, як і сучасні моделі, проте були значно небезпечнішими через відсутність надійних систем контролю та захисту. Розміри котла, тип палива та його технічні характеристики залежать від призначення обладнання та галузі, в якій воно застосовується [2, 3].

Сучасний котел має таку конструкцію: два барабани – верхній і нижній, які з'єднані між собою пучком труб, що утворюють конвективну поверхню котла. У передній частині котла розміщена топкова камера для спалювання палива. Бічні стінки топкової камери покриті трубами – водяними екранами, що утворюють радіаційну поверхню котла. Верхніми кінцями труби завальцьовані у верхньому барабані, а нижніми – приварені до колекторів [1].

В результаті спалювання палива в топці утворюються димові гази високої температури. Ці гази проходять по газоходах котла та омивають пучки труб, по яких циркулює вода. В результаті гази віддають воді частину свого тепла і охолоджуються, а вода нагрівається і перетворюється на пару, що збирається у верхньому барабані котла. Повітря для горіння в свою чергу подається в топку знизу через обдувний пристрій [3, 4].

Отже, незважаючи на відмінності в будові, у всіх котлах можна виділити два однакові основні процеси: горіння палива з утворенням газу високої температури (продуктів згорання) та передача тепла від цих газів до води. Саме в результаті цього у парових котлах вода нагрівається та випаровується, перетворюючись на пару.

Сучасні котельні установки є основними джерелами теплової енергії на промислових підприємствах, а їх ефективна та безпечна робота значною мірою залежить від рівня автоматизації технологічних процесів.

Парові котли широко застосовуються для вироблення пари, яка використовується у технологічних цілях, системах опалення та енергопостачання. Наприклад, пара необхідна для точного контролю температурних режимів, щоб уникнути переопалення або недостатньої обробки, що впливає на мікробіологічну безпеку та термін придатності харчових продуктів [3].

Котельні установки залежно від характеру споживачів поділяються на енергетичні, виробничо-опалювальні та опалювальні. За видом теплоносія, що виробляється, вони поділяються на парові (виробництво пари) та водогрійні (виробництво гарячої води) [1, 2].

Енергетичні котельні установки виробляють пару для парових турбін на теплових електростанціях. Такі котельні, як правило, оснащують котлоагрегатами великої та середньої потужності, які виробляють пару підвищених параметрів.

Виробничо-опалювальні котельні установки (зазвичай парові) виробляють пару не тільки для виробничих потреб підприємства, але й для цілей опалення, вентиляції та гарячого водопостачання.

Опалювальні котельні установки (в основному водогрійні, але вони можуть бути і паровими) призначені для обслуговування систем опалення виробничих і житлових приміщень [3].

Залежно від масштабів теплопостачання опалювальні котельні поділяються на місцеві, групові та районні.

Місцеві котельні зазвичай обладнуються водогрійними котлами або паровими котлами. Такі котельні призначені для постачання тепла до однієї або декількох будівель.

Групові котельні установки забезпечують теплом групи будівель, житлові квартали або невеликі мікрорайони. Такі котельні обладнують як паровими, так і водогрійними котлами, як правило, більшої теплопродуктивності, ніж котли для місцевих котельень.

Районні опалювальні котельні служать для теплопостачання великих житлових масивів. Такі котельні обладнують порівняно потужними водогрійними та паровими котлами здатними забезпечувати теплом цілі мікрорайони з великою кількістю багатоповерхових будинків. [2].

Важливо зазначити, що сучасна експлуатація парових котлів на промислових підприємствах неможлива без високого рівня автоматизації. Автоматизація роботи котлів забезпечує постійний контроль технологічних параметрів (тиску, температури, рівня води), підвищує ефективність виробництва, зменшує вплив людського фактора та сприяє безпеці експлуатації [1, 2].

У даній роботі об'єктом автоматизації було обрано паровий котел ДКВР 6,5-13. Маркування ДКВР розшифровується як: Д – двохбарабанный, К – котел, В – вертикально-водотрубний, Р – реконструйований. Котли даного типу характеризуються високим ККД, широким діапазоном регулювання продуктивності та можливістю роботи на різних видах палива (газ/мазут).

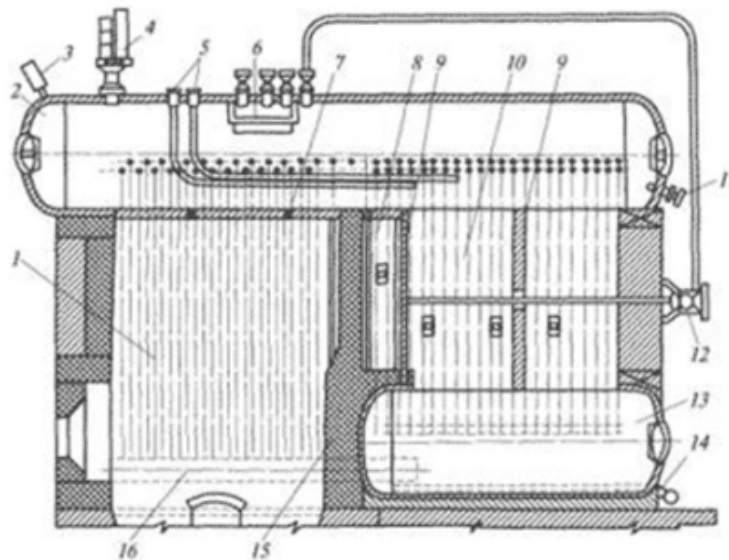


Рисунок 1 – Схематичне зображення котла ДКВР 6,5-13:

1 - Топкова камера; 2 - Верхній барабан; 3 - Манометр; 4 - Запобіжний клапан; 5 - Живильні трубопроводи; 6 - Сепараційний пристрій; 7 - Легкоплавка пробка; 8 - Камера догорання; 9 - Перегородка; 10 - Кип'ятильний пучок труб; 11 - Трубопровід безперервного продування; 12 - Обдувний пристрій; 13 - Нижній барабан; 14 - Трубопровід періодичної продувки; 15 - Цегляна стінка; 16 - Колектор

Основна мета впровадження автоматизованих систем керування полягає у підтриманні оптимальних технологічних параметрів – тиску, рівня води, витрати палива та повітря, у заданих межах без постійного втручання оператора [1, 4].

На даний час для автоматизації котлоагрегатів застосовуються різні технічні рішення, серед яких можна виділити дві основні групи:

1. Локальні системи керування на базі аналогових приладів та регуляторів;
2. Мікропроцесорні системи на базі програмованих логічних контролерів.

Локальні системи керування, що будувались на аналогових елементах, забезпечували лише базові функції, та мали обмежену точність, низьку швидкодію та відсутність можливості централізованого моніторингу. Такі системи, як правило, використовувались у котельнях старого типу й потребували постійного нагляду оператора. Також вони були вразливими до впливу зовнішніх факторів (температура, вологість електромагнітні перешкоди) [1].

Сучасні мікропроцесорні системи автоматизації, навпаки, дозволяють реалізувати повнофункціональне керування котельними установками. Найбільш поширеними рішеннями є системи на базі програмованих логічних контролерів (ПЛК), тому що ці пристрої підтримують цифрові інтерфейси обміну даними (Modbus, Profibus, Ethernet), мають модульну структуру і забезпечують надійний зв'язок із датчиками, регуляторами та виконавчими механізмами.

Наприклад, ПЛК дозволяють інтегрувати дублювання датчиків, автоматичне регулювання витрати палива та повітря, а також аварійну сигналізацію з блокуванням подачі газу при відхиленнях [1].

Переваги таких систем включають високу швидкодію, точність та можливість віддаленого доступу, що знижує вплив людського фактора. Також варто зазначити додаткові переваги систем на ПЛК, а саме суттєве зниження питомих витрат палива та зменшення викидів шкідливих речовин [2].

Для котлів ДКВР-6,5-13 мікропроцесорні системи особливо ефективні, оскільки вони дозволяють адаптувати регулювання різних видів палива (газ/мазут) та різних режимів роботи (від 40% до 120% номінальної продуктивності), забезпечуючи стабільність параметрів і підвищення ККД.

Перехід від аналогових до цифрових систем, як показує практика, скорочує час реакції на відхилення з хвилин до секунд, що критично для запобігання вибухів чи перегрівів. Крім того, сучасні системи забезпечують повне архівування всіх технологічних параметрів, що дозволяє проводити аналіз аварійних ситуацій та оптимізувати процеси теплопостачання [3].

Автоматизація на базі ПЛК також дозволяє значно скоротити кількість персоналу, необхідного для обслуговування котельні, та мінімізувати ризики помилок через людський фактор. Крім того, такі системи легко масштабуються і можуть бути поступово розширені при модернізації обладнання або збільшенні потужності котельної. Використання сучасних протоколів зв'язку забезпечує сумісність із обладнанням різних виробників, що спрощує подальше технічне обслуговування та оновлення таких систем [2, 3].

Висновки. Аналіз існуючих технічних рішень показав, що найбільш ефективним напрямком розвитку є впровадження сучасних автоматизованих систем керування на базі ПЛК. Такі системи забезпечують інтеграцію вимірювальних приладів, регулювальних і сигналізаційних засобів у єдину автоматизовану систему управління.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Трегуб В. Г. Проектування систем автоматизації: Навчальний посібник. К.: Видавництво Ліра-К, 2016. 344 с.
2. І.В. Ельперін, О.М. Пупена, В.М. Сідлецький, С.М. Швед. Автоматизація виробничих процесів: Підручник. К.: Видавництво Ліра-К, 2015. 378 с.
3. Пупена О. М., Ельперін І. В., Луцька Н. М., Ладанюк А. П. Промислові мережі та інтеграційні технології в автоматизованих системах: Навчальний посібник. К.: Ліра-К, 2011. 500 с.
4. Іванов А. О. Теорія автоматичного керування: Підручник. Дніпро: Національний гірничий університет. 2003. 250 с.

ПРОБЛЕМИ КЕРУВАННЯ ВЕРТИКАЛЬНИМИ АВТОКЛАВАМИ ПРИ ТЕРМІЧНІЙ ОБРОБЦІ ПЛОДООВОЧЕВИХ КОНСЕРВІВ

Термічна обробка (стерилізація та пастеризація) є найважливішим технологічним етапом у виробництві плодоовочевих консервів. Її головна мета полягає у знищенні патогенних мікроорганізмів та їхніх спор для забезпечення тривалого зберігання продукції без використання хімічних консервантів. У промисловості для цього масово використовуються апарати періодичної дії – вертикальні автоклави. Незважаючи на широке розповсюдження цього обладнання, процес автоматизації автоклавування залишається складною інженерною задачею. Будь-які відхилення температурних режимів від заданих технологічних карт призводять або до мікробіологічного браку, або до «переварювання» продукту, що руйнує вітаміни (зокрема термолабільний вітамін С) та погіршує органолептичні властивості.

Сучасні вимоги до енергоефективності та якості харчової продукції вимагають перегляду існуючих підходів до автоматизації. Тому аналіз основних проблем керування вертикальними автоклавами є актуальною науково-практичною задачею.

Метою дослідження є проведення аналізу методів керування та виявлення ключових проблемних аспектів автоматизації процесів термічної обробки плодоовочевих консервів у вертикальних автоклавах для забезпечення високої якості продукції та енергоефективності виробництва

Вертикальний автоклав, завантажений металевою або скляною тарою з плодоовочевою продукцією, є об'єктом керування з розподіленими параметрами, значним часом запізнювання та високою тепловою інерційністю. Підведення теплоносія (водяної пари або перегрітої води) не викликає миттєвої зміни температури у всьому об'ємі апарата [1].

Крім того, процес характеризується суттєвою нелінійністю. Перехідні процеси на стадії нагрівання, власне стерилізації та подальшого охолодження описуються різними диференціальними рівняннями. Зміна тиску в апараті впливає на температуру насиченої пари, а відкриття клапанів подачі охолоджуючої води створює різкі гідродинамічні та температурні збурення. Традиційні математичні моделі часто не здатні адекватно описати ці динамічні зміни, що ускладнює синтез якісних систем керування.

Головним критерієм якості процесу стерилізації є не просто підтримання температури середовища в автоклаві, а забезпечення нормативного показника накопиченої летальності (стерилізуючого ефекту) F_0 . Цей показник розраховується на основі температури в "найхолоднішій точці" всередині банки з консервами [2]. Фундаментальна проблема полягає в тому, що в умовах реального промислового виробництва неможливо розмістити фізичні термодатчики всередині кожної герметично закритої банки. Система керування отримує дані лише від датчиків, розташованих у корпусі автоклава (температура теплоносія). Внаслідок цього виникає "сліпа зона": контролер точно знає температуру пари, але може лише побічно оцінювати реальний стан прогріву самого продукту.

Теплофізичні властивості (коефіцієнт теплопровідності, питома теплоємність) є ключовими параметрами, що впливають на швидкість прогрівання банки. Існуючі алгоритми керування добре відпрацьовані для гомогенних рідких продуктів (наприклад, освітлених соків), де теплообмін відбувається переважно за рахунок конвекції [4]. Проте значна частина плодоовочевої консервації (овочеві рагу, лечо, зелений горошок у заливці, ікра) є складними багатокомпонентними гетерогенними системами. У таких продуктах теплообмін відбувається змішаним шляхом (кондукція та конвекція), а їхні теплофізичні характеристики можуть суттєво відрізнитися від партії до партії залежно від сорту овочів, ступеня їхньої стиглості та вологості. Ця невизначеність параметрів призводить до того, що налаштування регулятора, які були оптимальними для однієї партії, виявляються неефективними для іншої.

Переважає більшість вітчизняних консервних заводів використовує для керування автоклавами класичні контури з пропорційно-інтегрально-диференціальними (ПІД) регуляторами. Їхня головна перевага – простота реалізації та налаштування. Однак ці регулятори мають жорстко фіксовані коефіцієнти, розраховані на певний номінальний режим роботи.

В умовах зміни маси завантаження автоклава або переходу на інший тип тари (наприклад, з бляшаної на скляну) ПІД-регулятор не здатен самостійно адаптуватися. Це спричиняє появу значного перерегулювання (температурних викидів понад норму) на початку фази стерилізації та зтяжних коливальних процесів. Для запобігання браку оператори часто змушені штучно завищувати температуру або збільшувати час обробки, що призводить до перевитрат енергоносіїв на 15-20% та деградації якості продукту [4].

Аналіз наведених проблем свідчить про необхідність переходу від жорсткого програмування температурних режимів до адаптивного та предиктивного керування. Перспективними напрямками розв'язання цих задач є:

- Використання методів прогнозуючого керування (Model Predictive Control, MPC), які здатні розраховувати керуючі впливи з урахуванням технологічних обмежень та оптимізувати процес за критерієм мінімізації витрат енергії.
- Впровадження "м'яких сенсорів" (віртуальних датчиків) на базі штучних нейронних мереж для безперервного розрахунку температури всередині тари та показника SF_{0S} у режимі реального часу.
- Застосування алгоритмів нечіткої логіки (Fuzzy Logic) для створення адаптивних регуляторів, здатних коригувати свої параметри залежно від поточного стану об'єкта, нівелюючи вплив невизначеності теплофізичних властивостей плодоовочевої сировини [5].

Висновки. Керування процесом термічної обробки у вертикальних автоклавах ускладнюється рядом системних проблем: високою інерційністю об'єкта, неможливістю прямого контролю температури продукту, багатокомпонентністю плодоовочевих консервів та нездатністю класичних систем адаптуватися до змінних умов виробництва. Вирішення цих проблем вимагає модернізації існуючих систем автоматизації шляхом впровадження інтелектуальних алгоритмів керування. Це дозволить гарантувати мікробіологічну безпеку продукції, суттєво підвищити її харчову цінність та досягти значного економічного ефекту за рахунок оптимізації витрат теплоносіїв.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Трегуб В.Г. Побудова математичної моделі автоматизованого апарата періодичної дії. *Харчова промисловість*. 2004. № 3. С. 165-169.
2. Jimenez P. S., Bangar S. P., Suffern M., Whiteside W. S. Understanding retort processing: A review. *Food Science & Nutrition*. 2024. Vol. 12. P. 1545–1563. URL: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/fsn3.3912>
3. Luh B. S. Principles and Applications of Vegetable Processing. *Processing Vegetables* / ed. by D. S. Smith, J. N. Cash, W. K. Nip, Y. H. Hui. Boca Raton: Routledge, 1997. P. 1–46. DOI: <https://doi.org/10.1201/9780203741863-2>
4. Tirado-Kulieva V. A. Computational Applications for the Evaluation and Simulation of the Thermal Treatment of Canned Foods. *IntechOpen*, 2022. DOI: <https://doi.org/10.5772/intechopen.78107>
5. Khalilov F. V. Automation of the Sterilization Process of Canned Products in the Master SCADA System. *Galaxy International Interdisciplinary Research Journal*. 2021. Vol. 9, No. 12. P. 659–662. URL: <https://www.neliti.com/publications/597160/automation-of-the-sterilization-process-of-canned-products-in-the-master-scada-s>

ІНТЕЛЕКТУАЛЬНА СИСТЕМА ПРОГНОЗУВАННЯ ТА ОПТИМІЗАЦІЇ ЕНЕРГОСПОЖИВАННЯ БУДІВЛІ НА ОСНОВІ ІОТ ТА МАШИННОГО НАВЧАННЯ

У сучасних умовах глобального зростання енергоспоживання, підвищення тарифів на енергоресурси та необхідності зниження негативного впливу на навколишнє середовище особливої актуальності набуває підвищення енергоефективності будівель. Значна частка споживаної електроенергії припадає саме на житлові та комерційні будівлі, що обумовлює необхідність впровадження сучасних підходів до управління енергоспоживанням [3, 4].

Традиційні системи керування енергоспоживанням базуються на заздалегідь заданих режимах роботи обладнання та не враховують змінні фактори, такі як погодні умови, поведінка користувачів, завантаженість приміщень і часові коливання споживання. Це призводить до неефективного використання енергії, перевитрат ресурсів і зниження загальної ефективності системи [3].

Сучасний розвиток технологій Інтернет речей (ІоТ) дозволяє організувати безперервний збір даних за допомогою датчиків температури, вологості, освітленості, присутності людей та інших параметрів. Одночасно методи машинне навчання забезпечують можливість аналізу великих обсягів даних, виявлення закономірностей і побудови прогнозних моделей енергоспоживання [1].

Поєднання ІоТ та машинного навчання створює основу для побудови інтелектуальних систем, які здатні не лише контролювати, але й прогнозувати споживання енергії, а також автоматично оптимізувати режими роботи інженерних систем будівлі (опалення, вентиляції, кондиціонування, освітлення). Це дозволяє досягти значної економії енергоресурсів без втрати комфорту для користувачів [1, 3].

На сьогодні існує значна кількість систем керування енергоспоживанням будівель, які умовно можна поділити на традиційні та інтелектуальні [3].

Традиційні системи керування (BMS) призначені для централізованого контролю інженерних систем будівлі, таких як опалення, вентиляція, кондиціонування та освітлення. Вони працюють на основі заздалегідь заданих алгоритмів, розкладів і порогових значень [3].

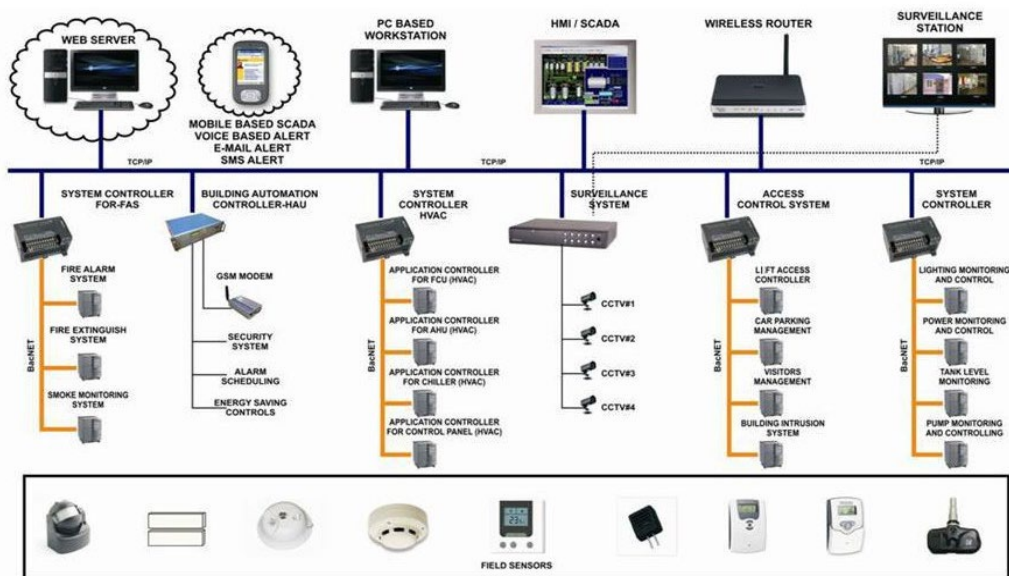


Рисунок 1 - Приклад традиційної системи керування

Основною перевагою таких систем є автоматизація базових процесів і підвищення надійності роботи обладнання. Однак вони мають суттєвий недолік — відсутність адаптивності. Система не враховує змінні фактори, такі як погодні умови, присутність людей чи поведінкові особливості користувачів, що призводить до неефективного використання енергоресурсів [3].

Інтелектуальні системи базуються на використанні технологій Інтернет речей та методів машинне навчання. Вони забезпечують збір даних з великої кількості датчиків у режимі реального часу та їх подальший аналіз [1, 3].

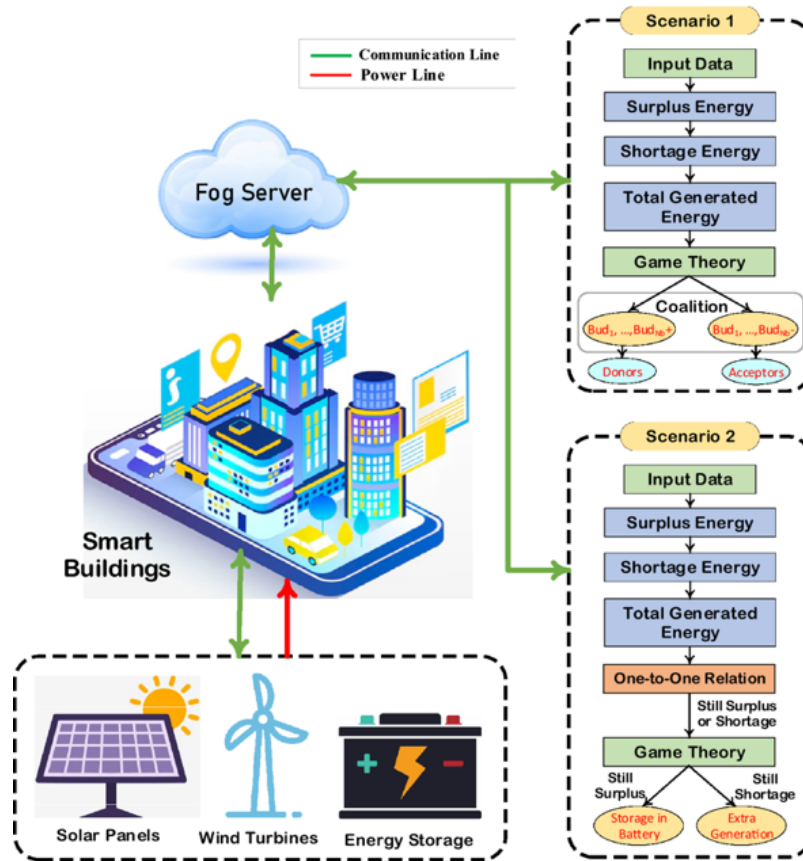


Рисунок 2 - Приклад інтелектуальної системи

На відміну від традиційних систем, такі рішення здатні прогнозувати енергоспоживання, враховувати зовнішні фактори (погоду, час доби, завантаженість приміщень) та автоматично оптимізувати режими роботи обладнання. Це дозволяє значно знизити витрати енергії та підвищити загальну ефективність функціонування будівлі [5, 6].

Концепція інтелектуальної системи прогнозування та оптимізації енергоспоживання будівлі базується на інтеграції технологій Інтернет речей та методів машинне навчання. Основною ідеєю є створення адаптивної системи, яка здатна автоматично керувати енергоспоживанням на основі аналізу даних у реальному часі та прогнозування майбутніх навантажень [1, 3].

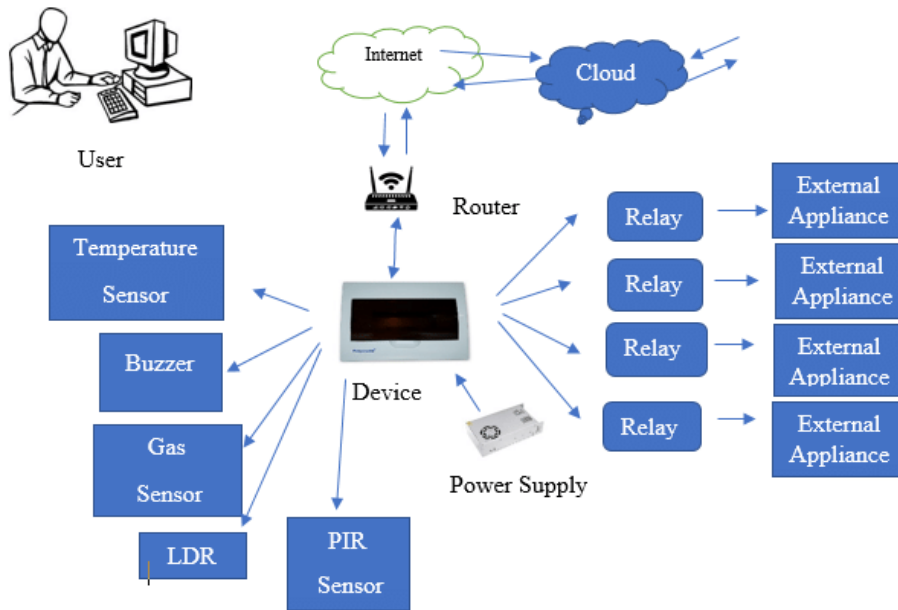


Рисунок 3 - Приклад концепції

Система передбачає багаторівневу структуру. На рівні збору даних використовуються IoT-датчики, які фіксують параметри середовища: температуру, вологість, освітленість, споживання електроенергії, а також присутність людей у приміщенні. Дані передаються через мережу на центральний сервер або контролер, де здійснюється їх обробка [3].

На аналітичному рівні відбувається обробка та аналіз отриманих даних із застосуванням алгоритмів машинного навчання. Система формує прогноз енергоспоживання на основі історичних даних, часових залежностей і зовнішніх факторів, таких як погодні умови або режим експлуатації будівлі [1, 7].

На рівні керування система генерує оптимальні команди для інженерних систем будівлі (опалення, вентиляції, кондиціонування, освітлення). Керування здійснюється автоматично з урахуванням заданих критеріїв, таких як мінімізація енергоспоживання, зниження витрат або забезпечення комфортних умов [3, 6].

Ключовою особливістю запропонованої концепції є її адаптивність та здатність до самонавчання. Система постійно оновлює свої моделі на основі нових даних, що дозволяє підвищувати точність прогнозування та ефективність керування [1].

Архітектура інтелектуальної системи прогнозування та оптимізації енергоспоживання будівлі будується за багаторівневим принципом і включає рівень збору даних, рівень передавання інформації, аналітичний рівень та рівень керування виконавчими пристроями. Такий підхід забезпечує безперервний моніторинг параметрів середовища, обробку отриманих даних і формування керуючих впливів у режимі реального часу [1, 3].

На рівні збору даних використовуються IoT-датчики, що вимірюють температуру повітря, вологість, освітленість, присутність людей у приміщенні, а також параметри споживання електроенергії. Отримані дані передаються через бездротові або дротові канали зв'язку до центрального контролера, шлюзу або серверної платформи. Основне призначення цього рівня полягає у формуванні актуальної інформаційної бази для подальшого аналізу [3].

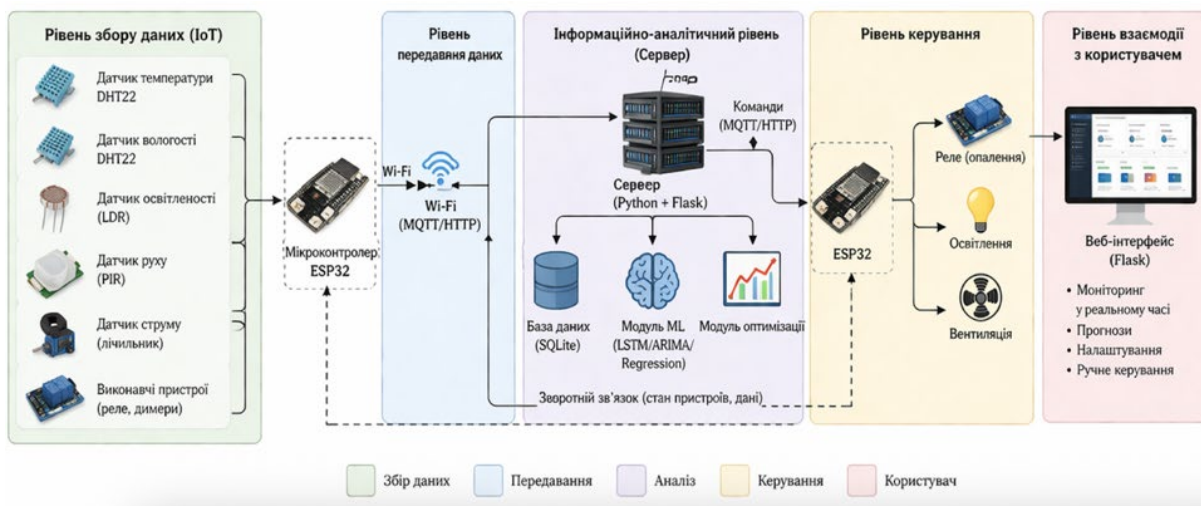


Рисунок 4 - Загальний вигляд архітектури

Аналітичний рівень виконує обробку, збереження та аналіз зібраних даних. На цьому етапі застосовуються алгоритми машинного навчання, які дозволяють виявляти закономірності енергоспоживання, будувати прогнози навантаження та визначати оптимальні режими роботи обладнання. Для підвищення точності прогнозування можуть враховуватися історичні дані, добові графіки навантаження, погодні умови та поведінкові фактори користувачів [1, 7].

Рівень керування реалізує передачу команд на виконавчі пристрої, до яких належать системи опалення, вентиляції, кондиціонування, освітлення та інші енергоспоживаючі підсистеми будівлі. На основі результатів аналізу система автоматично змінює режими роботи обладнання для досягнення мінімального енергоспоживання при збереженні комфортних умов у приміщенні [3, 6].

Для прогнозування енергоспоживання в інтелектуальній системі застосовуються методи машинне навчання, які дозволяють аналізувати великі обсяги даних та виявляти приховані закономірності. Основною задачею є прогнозування часових рядів енергоспоживання, які формуються під впливом різноманітних факторів, зокрема температури навколишнього середовища, часу доби, дня тижня, рівня завантаженості будівлі та поведінкових особливостей користувачів [1, 7].

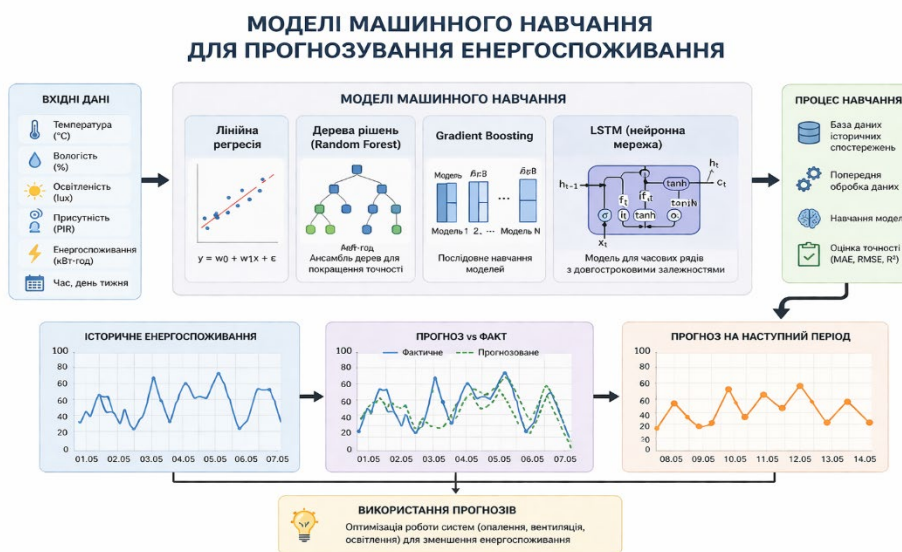


Рисунок 5 - Модель машинного навчання

Одним із базових підходів є використання лінійної регресії, яка дозволяє встановити залежність між енергоспоживанням і вхідними параметрами. Даний метод є простим у реалізації та не потребує значних обчислювальних ресурсів, проте його точність обмежена у випадку складних нелінійних залежностей, характерних для реальних енергетичних систем [1].

Більш ефективними є методи, що базуються на деревах рішень та ансамблевих алгоритмах, таких як Random Forest або Gradient Boosting. Вони дозволяють враховувати складні взаємозв'язки між змінними, працюють із різнорідними даними та забезпечують вищу точність прогнозування порівняно з простими моделями. Такі методи добре підходять для аналізу багатофакторних систем енергоспоживання [1, 7].

Найбільш перспективним підходом для задач прогнозування енергоспоживання є використання рекурентних нейронних мереж, зокрема LSTM (Long Short-Term Memory). Ці моделі спеціально розроблені для роботи з часовими рядами та здатні враховувати довгострокові залежності у даних. LSTM-мережі аналізують послідовності попередніх значень і формують прогноз на основі накопиченої інформації, що дозволяє ефективно враховувати сезонність, тренди та нерегулярні зміни в споживанні енергії [7].

Завдяки використанню моделей машинного навчання, особливо нейронних мереж типу LSTM, забезпечується висока точність прогнозування енергоспоживання. Це, у свою чергу, створює основу для побудови ефективних алгоритмів оптимізації та автоматичного керування енергетичними процесами в будівлі [7].

Алгоритм оптимізації енергоспоживання є ключовим елементом інтелектуальної системи, який забезпечує прийняття рішень щодо керування інженерними системами будівлі на основі прогнозних даних. Його робота базується на поєднанні результатів аналізу, прогнозування та заданих критеріїв ефективності [1, 3].



Рисунок 6 - Алгоритм оптимізації енергоспоживання

На першому етапі алгоритм отримує вхідні дані від IoT-системи, зокрема поточні параметри середовища (температура, вологість, освітленість), інформацію про присутність людей, а також значення енергоспоживання. Додатково враховуються зовнішні фактори, такі як погодні умови та часові характеристики [3].

На другому етапі використовується прогнозна модель, яка формує очікуване значення енергоспоживання на майбутній період. Це дозволяє системі не лише реагувати на поточний стан, але й працювати на випередження [7].

Далі виконується етап оптимізації, на якому визначаються найбільш ефективні режими роботи обладнання. Алгоритм порівнює різні варіанти керування та обирає той, який забезпечує мінімальне енергоспоживання при збереженні комфортних умов у приміщенні [1, 3].

На завершальному етапі сформовані керуючі сигнали передаються на виконавчі пристрої, такі як системи опалення, вентиляції, кондиціонування та освітлення. Після цього система отримує зворотний зв'язок, що дозволяє коригувати роботу алгоритму та підвищувати його ефективність [3, 6].

За результатами моделювання або експериментальних досліджень очікується зменшення загального енергоспоживання будівлі в середньому на 15–30%. Найбільший ефект досягається за рахунок оптимізації роботи систем опалення, вентиляції та кондиціонування, які є основними споживачами енергії [5, 7].

Крім зниження витрат, система забезпечує підтримку комфортних умов для користувачів, оскільки враховує параметри мікроклімату та присутність людей у приміщенні. Завдяки прогнозуванню система здатна запобігати піковим навантаженням та більш рівномірно розподіляти споживання енергії протягом доби [3, 6].

Також важливою перевагою є можливість постійного вдосконалення системи за рахунок накопичення даних та навчання моделей. Це дозволяє підвищувати точність прогнозів і ефективність керування з часом [1].

ЛІТЕРАТУРА:

1. Димова Г.О., Ларченко О.В. Моделі і методи інтелектуального аналізу даних: навчальний посібник. Херсон: ФОП Вишемирський В.С., 2021. 142 с.
2. Херсонський національний технічний університет. Методичні вказівки до виконання наукових робіт для студентів технічних спеціальностей. Херсон: ХНТУ, 2022.
3. Білик С.В., Каплун В.В. Енергоменеджмент у будівлях: навчальний посібник. Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2020. 156 с.
4. Закон України «Про енергетичну ефективність будівель». Відомості Верховної Ради України. 2017. № 33.
5. International Energy Agency. Energy Efficiency 2022. Paris: IEA, 2022. URL: <https://www.iea.org/reports/energy-efficiency-2022> (дата звернення: 04.04.2026).
6. ISO. ISO 50001:2018 Energy management systems — Requirements with guidance for use. Geneva: ISO, 2018.
7. Ahmad T., Chen H. Short and medium-term forecasting of cooling and heating load demand in building environment with data-driven approaches. Energy and Buildings. 2018. Vol. 166. P. 460–476.

АВТОМАТИЗАЦІЯ СИСТЕМ ЦЕНТРАЛЬНОГО КОНДИЦІОНУВАННЯ ВИРОБНИЧИХ ПРИМІЩЕНЬ

Забезпечення стабільних параметрів мікроклімату у виробничих приміщеннях є важливою умовою якості продукції та безпеки праці. Сучасні системи центрального кондиціонування повітря є складними багатокомпонентними системами, що потребують ефективного автоматизованого керування.

Основною метою автоматизації є підтримання заданих параметрів повітряного середовища при мінімальних енергетичних витратах. У сучасних системах кондиціонування ключову роль відіграють програмовані логічні контролери (ПЛК), які забезпечують збір, обробку даних і формування керуючих сигналів [1].

Як приклад ефективного рішення доцільно використовувати контролер Siemens SIMATIC S7-1200 [2], який широко застосовується у промисловій автоматизації завдяки:

- вбудованому протоколу Ethernet (легка інтеграція зі SCADA)
- підтримка Modbus TCP/RTU;
- компактність;
- надійність для промислових умов;
- зручне програмування в TIA Portal

Контролер отримує сигнали від датчиків температури, вологості та якості повітря, після чого формує керуючі впливи на виконавчі механізми.

Робота системи кондиціонування базується на рівнянні теплового балансу приміщення:

$$Q_{\text{заг}} = Q_{\text{вн}} + Q_{\text{обл}} + Q_{\text{сон}} - Q_{\text{ох}} \quad (1)$$

- де $Q_{\text{заг}}$ – сумарне теплове навантаження;
 $Q_{\text{вн}}$ – внутрішні тепловиділення (персонал, освітлення);
 $Q_{\text{обл}}$ – тепловиділення від обладнання;
 $Q_{\text{сон}}$ – надходження тепла від сонячної радіації;
 $Q_{\text{ох}}$ – холодопродуктивність системи.

Керування температурою можна описати диференціальним рівнянням:

$$C \frac{dT}{dt} = Q_{\text{заг}} - Q_{\text{охол}} \quad (2)$$

- де C – теплоємність повітря в приміщенні;
 T – температура повітря.

У систем автоматичного керування кондиціонування повітря найчастіше використовуються ПД-регулятори [3,4], що дозволяє:

- зменшити перерегулювання;
- забезпечити швидку реакцію системи;
- підвищити точність підтримання температури, вологості та безпечний рівень CO₂.

На рис. 1 показана структурна схема АСУТП кондиціонування повітря в промисловому приміщенні.

АВТОМАТИЗАЦІЯ СИСТЕМИ ЦЕНТРАЛЬНОГО КОНДИЦІОНУВАННЯ ВИРОБНИЧОГО ПРИМІЩЕННЯ З КОНТРОЛЕМ CO₂



Рисунок 1 – Структурна схема системи кондиціонування повітря

Контролер реалізує залежність:

$$G = f(C_{CO_2}) \quad (3)$$

тобто:

- при зростанні CO₂ → збільшується витрата повітря;
- при зменшенні → система переходить у економний режим.

Основні методи підвищення ефективності:

- використання частотного регулювання;
- рекуперация тепла;
- адаптивні алгоритми керування;
- нічні та економічні режими.

Автоматизація систем центрального кондиціонування є ключовим фактором забезпечення стабільних умов виробництва. Використання математичних моделей, ПІД-регуляторів та сучасних систем керування дозволяє значно підвищити ефективність роботи кліматичних систем.

Подальший розвиток полягає у впровадженні інтелектуальних алгоритмів, систем прогнозування та технологій ШІ.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Фединець В.О., Васильківський І.С., Николин Г.А. Автоматизація виробничих процесів: навч. посібник.- Львів: СПОЛОМ, 2023.-192 с.
2. SIMATIC S7-1200 Programmable Controller System Manual. URL: <https://support.industry.siemens.com> (дата звернення: 01.03.2026)
3. ДБН В.2.5-67:2013. Опалення, вентиляція та кондиціонування. URL: <https://dbn.co.ua> (дата звернення: 20.03.2026)
4. Ventilation and CO₂ Control in Buildings. URL: <https://www.engineeringtoolbox.com> (дата звернення: 09.04.2026)

РОЗРОБКА ІНФОРМАЦІЙНО-АНАЛІТИЧНОЇ СИСТЕМИ НА ОСНОВІ ЦИФРОВОГО ДВІЙНИКА ДЛЯ МОНІТОРИНГУ ТЕХНІЧНОГО ОБ'ЄКТА

У сучасних умовах розвитку промисловості важливим завданням є забезпечення ефективного моніторингу та аналізу стану технічних об'єктів. Традиційні методи контролю не завжди дозволяють оперативно отримувати повну інформацію про роботу системи, що може призводити до зниження ефективності та виникнення аварійних ситуацій.

Актуальність дослідження зумовлена необхідністю впровадження сучасних інформаційно-аналітичних систем, здатних забезпечити безперервний контроль та аналіз роботи технічних об'єктів у режимі реального часу. Одним із перспективних підходів є використання технології цифрового двійника, яка дозволяє створити віртуальну модель об'єкта та проводити аналіз його стану.

Метою роботи є розробка інформаційно-аналітичної системи на основі цифрового двійника для моніторингу технічного об'єкта та оцінки ефективності його функціонування.

У якості програмного середовища використано Siemens Tecnomatix Plant Simulation, що дозволяє створювати цифрові моделі технічних систем та здійснювати аналіз їх роботи (Рис.1).

У розробленій моделі відображено роботу технічного об'єкта у вигляді виробничої системи з набором технологічних операцій, ресурсів та потоків деталей. Інформаційно-аналітична складова включає збір статистичних даних, таких як час обробки, рівень завантаження обладнання, простоти та продуктивність системи.

У процесі виконання роботи я використовувала можливості програмного середовища для налаштування збору та аналізу статистичних даних. Я досліджувала показники роботи системи, аналізувала завантаження окремих елементів та визначала відхилення від нормального режиму роботи. Це дозволило мені отримати практичні навички створення інформаційно-аналітичних систем та роботи з цифровими моделями.

За результатами моделювання було встановлено, що використання цифрового двійника дозволяє оперативно виявляти проблемні ділянки, оцінювати ефективність роботи системи та приймати обґрунтовані рішення щодо її оптимізації.

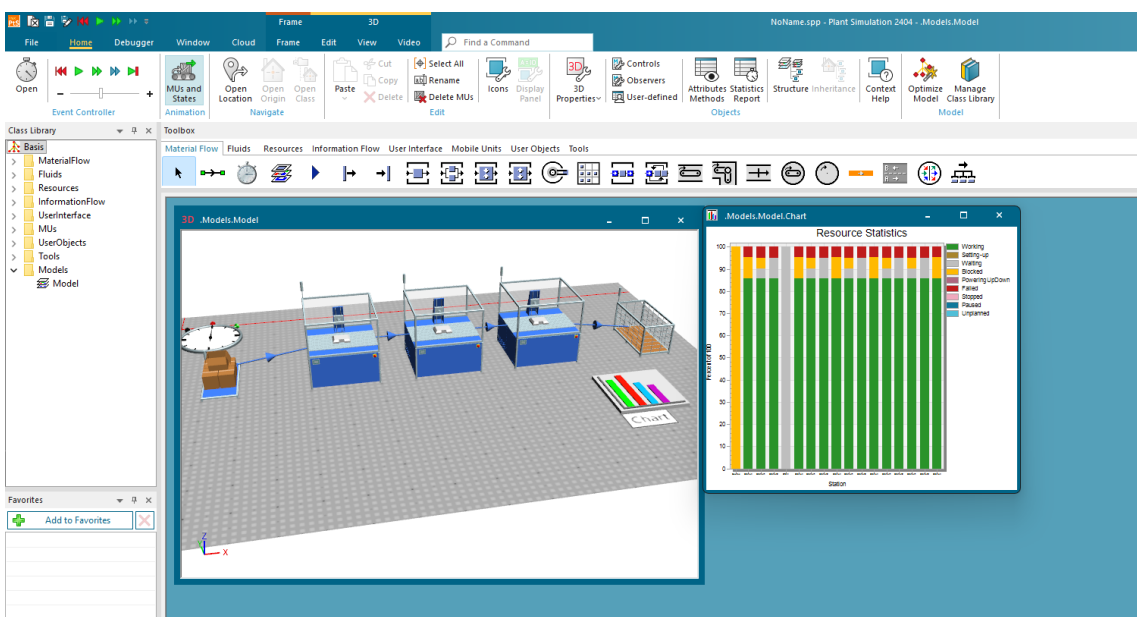


Рисунок 1 – Інформаційно-аналітична модель технічного об'єкта

У роботі показано, що застосування інформаційно-аналітичних систем на основі цифрових двійників є ефективним інструментом для моніторингу технічних об'єктів. Це дозволяє підвищити надійність, продуктивність та ефективність функціонування сучасних мехатронних систем.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Томашевський В. М. Моделювання систем. Київ : Видавнича група ВНУ, 2005. 352 с.
2. Стеценко И. В. Теоретические основы Петри-объектного моделирования систем. *Математичні машини і системи*. Киев, 2011. № 4. С. 136-148.
3. Стеценко И. В. Алгоритм имитации Петри-объектной модели. *Математичні машини і системи*. Киев, 2012. № 1. С. 154-165.
4. Стеценко И. В. Формальное описание систем средствами Петри-объектных моделей. *Вісник НТУУ "КПІ". Інформатика, управління та обчислювальна техніка : Зб. наук. пр.* Киев : ВЕК+, 2011. № 53. С. 74-81.
5. Стеценко И. В., Бойко О. В. Система імітаційного моделювання засобами сіток Петрі. *Математичні машини і системи*. Київ, 2009. № 1. С. 117-124.
6. Garrido J. M. Object-Oriented Discrete-Event Simulation with Java: A Practical Introduction. New York : Kluwer/Plenum, 2001. 255 p.
7. Стеценко И. В., Василевська О. В. Проектування графічного модуля програмного забезпечення Петрі-об'єктного моделювання систем. *Вісник Черкаського державного технологічного університету*. Черкаси : ЧДТУ, 2013. № 2. С. 13-18.
8. Лоу А., Кельгон Д. Имитационное моделирование. Классика CS : Пер. с англ. 3-е изд. Киев : Издательская группа ВНУ, 2004. 847 с.

РОЗРОБКА СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ ВОЛОГІСТЮ ГОФРОКАРТОНУ НА ОСНОВІ ПРОГРАМОВАНОГО ЛОГІЧНОГО КОНТРОЛЕРА

У сучасних умовах розвитку промисловості значна увага приділяється автоматизації технологічних процесів, що дозволяє підвищити ефективність виробництва, покращити якість продукції та знизити експлуатаційні витрати [1-4]. Одним із важливих параметрів у виробництві гофрокартону є рівень вологості матеріалу, який безпосередньо впливає на його фізико-механічні характеристики, міцність, стійкість до деформацій та якість подальшої обробки.

Під час виробництва гофрокартону здійснюється нагрівання та сушіння матеріалу, при якому необхідно підтримувати оптимальний рівень вологості. Недостатня вологість призводить до ламкості матеріалу, а надлишкова — до втрати міцності та порушення технологічних параметрів. Ручне регулювання таких процесів є малоефективним, оскільки не дозволяє оперативно реагувати на зміну умов виробництва. У зв'язку з цим актуальним є впровадження систем автоматичного керування з використанням сучасних програмованих логічних контролерів.

Метою роботи є розробка системи автоматичного керування вологістю гофрокартону з використанням програмованого логічного контролера та алгоритму ПІД-регулювання, що забезпечує стабілізацію параметрів технологічного процесу та підвищення якості продукції.

Для досягнення поставленої мети було виконано аналіз технологічного процесу виробництва гофрокартону представленого на рис. 1, визначено основні параметри, що впливають на рівень вологості, та обґрунтовано необхідність використання автоматизованої системи керування. Основними параметрами, що підлягають контролю, є температура сушильної секції, швидкість руху полотна та кількість пари, яка подається до зони обробки матеріалу.

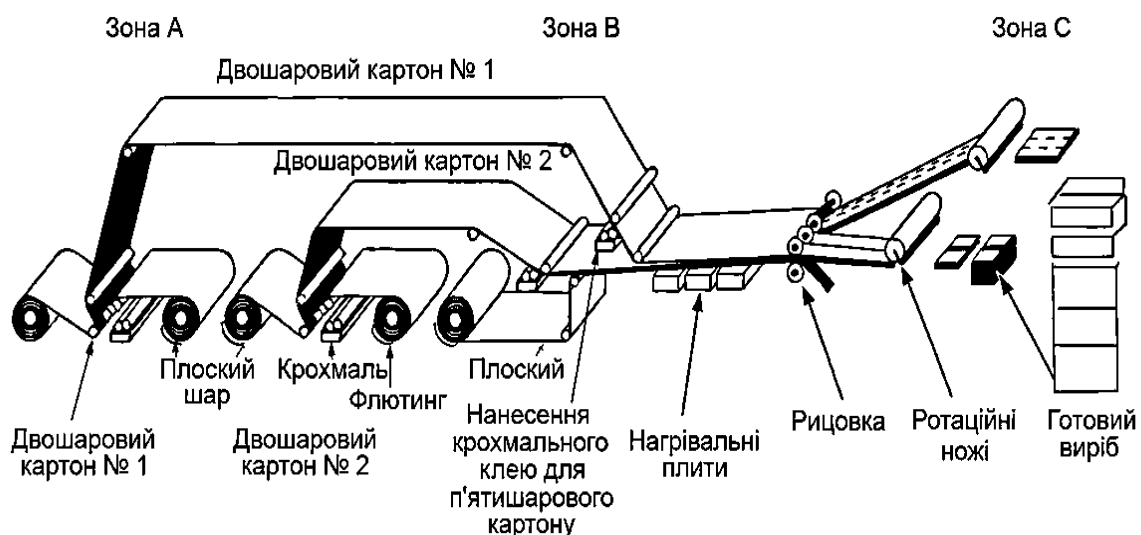


Рисунок 1 – Технологічний процес виробництва гофрокартону

Розроблена система автоматичного керування включає датчики вологості, температури та швидкості, програмований логічний контролер, виконавчі механізми та систему візуалізації технологічного процесу [5]. Вимірювання фактичних значень параметрів здійснюється за допомогою датчиків, що формують аналогові сигнали у діапазоні 4–20 мА. Отримані сигнали

надходять до програмованого логічного контролера, де виконуються їх масштабування, обробка та аналіз.

У ролі центрального елемента системи використовується програмований логічний контролер Siemens SIMATIC S7-1200 CPU 1214C, який забезпечує виконання алгоритму автоматичного керування та взаємодію між усіма компонентами системи. Контролер здійснює порівняння вимірених значень вологості із заданим значенням та визначає величину відхилення, що використовується для формування керуючого сигналу [6].

Для реалізації процесу регулювання використано ПІД-регулятор, реалізований на базі програмованого логічного контролера через блок PID_Compact, який дозволяє враховувати пропорційну, інтегральну та диференціальну складові керуючого сигналу. Застосування ПІД-регулятора забезпечує швидке досягнення заданого значення параметра та мінімізацію перерегулювання. Вихідний сигнал регулятора використовується для керування клапаном подачі пари, що дозволяє регулювати кількість теплової енергії, яка подається до матеріалу.

Додатково у системі реалізовано керування швидкістю руху полотна за допомогою частотного перетворювача. Зміна швидкості транспортування матеріалу впливає на тривалість його перебування у зоні сушіння, що дозволяє більш точно регулювати рівень вологості. У разі недостатньої температури швидкість руху полотна автоматично зменшується, що забезпечує додатковий час для нагрівання матеріалу.

Алгоритм роботи системи реалізовано у вигляді циклічного процесу, що включає кілька послідовних етапів. На першому етапі здійснюється вимірювання фактичних значень параметрів процесу. Далі виконується обчислення помилки регулювання шляхом порівняння фактичного та заданого значення вологості. На основі отриманої помилки ПІД-регулятор формує керуючий сигнал, який передається на виконавчі механізми. Після цього цикл повторюється з певним інтервалом часу, що забезпечує безперервне регулювання параметрів процесу.

Особлива увага приділена забезпеченню безпечної роботи системи [7-8]. У програмному забезпеченні реалізовано функції аварійного контролю, що включають перевірку перевищення допустимого значення температури та можливість аварійної зупинки обладнання. У разі виникнення аварійної ситуації система автоматично вимикає виконавчі механізми та формує відповідний сигнал для оператора.

Для контролю та керування технологічним процесом застосовується інтегрована інженерна платформа Siemens TIA Portal з використанням WinCC. Дана платформа забезпечує реальний час відображення поточних значень технологічних параметрів, оперативну зміну уставок, моніторинг роботи системи, а також реєстрацію та архівацію даних. Розроблений графічний інтерфейс оператора дозволяє зручно візуалізувати весь технологічний процес, відстежувати поточний стан обладнання та швидко реагувати на відхилення, що суттєво підвищує зручність експлуатації системи та зменшує ймовірність помилкових дій оператора.

Оцінка ефективності розробленої системи автоматичного керування проводилась шляхом експериментального аналізу стабільності підтримання заданого значення вологості та ключових показників якості перехідного процесу. Результати дослідження показали, що застосування ПІД-регулятора, реалізованого через функціональний блок PID_Compact, забезпечує суттєве зменшення часу встановлення заданого значення вологості, зниження амплітуди коливань та перерегулювання в перехідних режимах. Завдяки цьому досягається висока стабільність технологічного параметра протягом усього процесу виробництва, що в свою чергу дозволяє значно зменшити кількість бракованої продукції та підвищити загальну якість гофрокартону.

Розроблена система автоматичного керування має значний практичний потенціал і може бути використана для модернізації існуючих виробничих ліній. Її впровадження дозволяє підвищити продуктивність обладнання, покращити якість продукції та знизити витрати енергоресурсів.

Отримані результати підтверджують ефективність використання сучасних засобів автоматизації у виробничих процесах та демонструють перспективність подальших

досліджень у напрямку оптимізації параметрів керування та вдосконалення алгоритмів автоматичного регулювання.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Жученко А.І., Піргач М.С., Жураковський Я.Ю. Автоматизація виробничих процесів целюлозно-паперового виробництва : навч. посіб. Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2018. 146 с.
2. Автоматизація виробничих процесів : навч. посіб. для технічних спеціальностей вищих навчальних закладів / Проць Я. І., Ляшук О. Л., Савків В. Б., Шкодзінський О. К. Тернопіль : ТНТУ ім. І.Пулля, 2011. 344 с.
3. Лукінюк М. В. Автоматизація типових технологічних процесів : навч. посіб. для студ. вищих навч. закладів. Київ : Політехніка, 2008. 236 с. URL : <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/49706> (дата звернення: 15.03.2026).
4. Промислові мережі та інтеграційні технології в автоматизованих системах : навч. посіб. / Пупена О. М., Ельперін І. В., Луцька Н. М., Ладанюк А. П.. Київ : Ліра-К, 2015. 552 с.
5. Trainings in Automation Technology for Ukraine: TATU Study Book / Collective of authors including Gorb S., Nikolskyi V., Shapo V., Khniunin S. Editors Christian Madritsch and Wolfgang Werth. June 9, 2017. 211 p.
6. Аврунін О.Г., Носова Т.В., Семенець В.В. Основи мови VHDL для проектування цифрових пристроїв на ПЛІС : навч. посіб. Харків : ХНУРЕ, 2018. 196 с.
7. Основи охорони праці : навчальний посібник для студентів вищих навчальних закладів / Івах Р. М., Бедрій Я. І., Білінський Б. О., Козяр М. М.. Київ : Кондор, 2010. 462 с.
8. Правила будови електроустановок (ПБЕ). Київ : Міненерговугілля України, 2017. 608 с.

СЕКЦІЯ
«МОДЕЛЮВАННЯ ТА ОПТИМІЗАЦІЯ
СИСТЕМ УПРАВЛІННЯ»

INTELLIGENT CONTROL WITH INVARIANT IDENTIFICATION OF NONLINEAR OBJECTS

Due to the significant disadvantages of classical methods for describing nonlinear dynamic systems, as well as the limitations of machine learning tools used in modelling real processes, a physically oriented approach to identification based on the search for symmetry groups in the intelligent control of dynamic real-time objects is proposed.

Nonlinear dynamic systems are usually described by differential equations of the form

$$\frac{\partial f}{\partial t} + v \frac{\partial f}{\partial x} = 0,$$

where f is a functional dependence, v is a velocity, which do not have a simple analytical solution. To solve them, classical numerical methods are used, such as the Euler or Runge-Kutta methods, and the transition to difference equations

$$\frac{f_n^{i+1} - f_n^i}{\Delta t} + v \frac{f_n^i - f_{n-1}^i}{\Delta x} = 0.$$

The accuracy and duration of calculations in this approach are determined by the discretization step, dimensionality and complexity of the systems. For complex multidimensional real-time systems, the duration of calculations is one of the determining parameters.

Now the neural network approach has become widely used, which allows obtaining an approximate but fast solution by approximating an unknown function on an arbitrary parameter space $y = f_{NN}(x, t)$. The quality criterion is usually the error value on the training and test data sets, which characterizes the accuracy limitation. In essence, a level is reached at which the description of the unknown dependence cannot be improved, because increasing the number of iterations when training neural networks is not able to increase accuracy, but only leads to overtraining with memorization of data. Therefore, real physical processes in the neural network approach cannot be reproduced absolutely accurately, as shown in Figure 1.

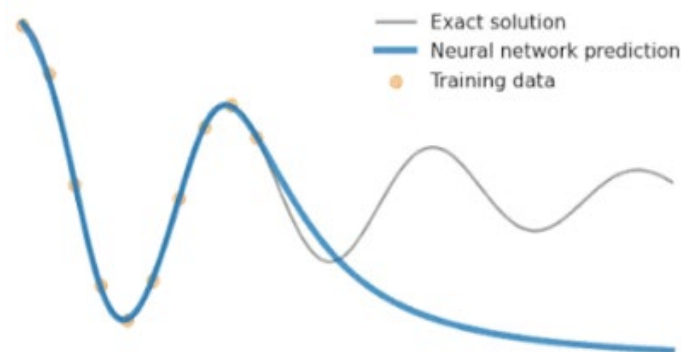


Figure 1 – Example of modelling a physical process by a neural network

In this regard, a physically oriented approach to building neural networks has been developed, in particular Physics Informed Neural Networks (PINN), which allows taking into account physical conservation laws and avoiding the accumulation of computational errors.

Another approach, based on the use of continuous symmetry groups in the analysis and solution of difference equations [1], allows, instead of adjusting the parameters of the neural network, to apply invariant identification of control objects. Real dynamic systems should be noted to have many nonlinear interactions, the influence of which on the decisions made cannot be avoided. The use of an invariant approach allows simplifying the system model.

Based on the group analysis method, the generators of the symmetry group

$$X = \xi(t, x) \frac{\partial}{\partial t} + \eta(t, x) \frac{\partial}{\partial x}$$

are found for a dynamic object described by the equation of motion

$$F_n = m \cdot \frac{v_{n+1} - v_n}{\Delta t}.$$

An invariant difference equation is obtained that connects time, position and velocity

$$S(t_n, x_n, v_n, t_{n+1}, x_{n+1}, v_{x+1}) = 0$$

with the preservation of energy balance.

Unknown group parameters (p_1, p_2, \dots, p_k) , which are components of the total projection of forces along the direction of motion $S(x, v; p)$, are determined during network training in order to minimize the control error.

REFERENCES:

1. Cherevko I., Piddubna L. On approximation of solutions of differential-difference equations. *Matematychni Studii*. V.9 (1998), No.2, p.187-192.

ДИНАМІКА АДСОРБЦІЙНОГО ОЧИЩЕННЯ ВОДИ ВІД ОРГАНІЧНИХ БАРВНИКІВ У НЕРУХОМОМУ ШАРІ АКТИВОВАНОГО ВУГІЛЛЯ: ОБЧИСЛЮВАЛЬНИЙ ЕКСПЕРИМЕНТ

Очищення води від органічних барвників є актуальним завданням сучасних хіміко-технологічних систем, особливо в умовах зростання антропогенного навантаження на водні ресурси. Стійкі органічні барвники, зокрема метиленовий синій, широко застосовуються у текстильній, фармацевтичній та хімічній промисловості та характеризуються високою хімічною стабільністю і токсичністю. Ефективним методом їх вилучення є адсорбція на активованому вугіллі в колонних апаратах з нерухомим шаром.

Важливим аспектом проектування таких систем є встановлення залежності часу проскоку від гідродинамічних параметрів, зокрема лінійної швидкості потоку. Це дозволяє прогнозувати ресурс роботи адсорбційного шару та визначати й оптимізувати режими керування такими системами.

Дослідження проводилось із використанням програмного комплексу Aspen Adsorption, який дає змогу моделювати нестационарні процеси масопереносу в адсорбційних колонках з урахуванням кінетики та рівноважних залежностей.

У рамках обчислювального експерименту було змодельовано процес очищення водного розчину барвника у нерухомому шарі активованого вугілля при різних значеннях лінійної швидкості потоку (рис. 1). Для кожного значення швидкості визначався час проскоку T_p , що відповідає досягненню заданого відношення концентрацій на виході.

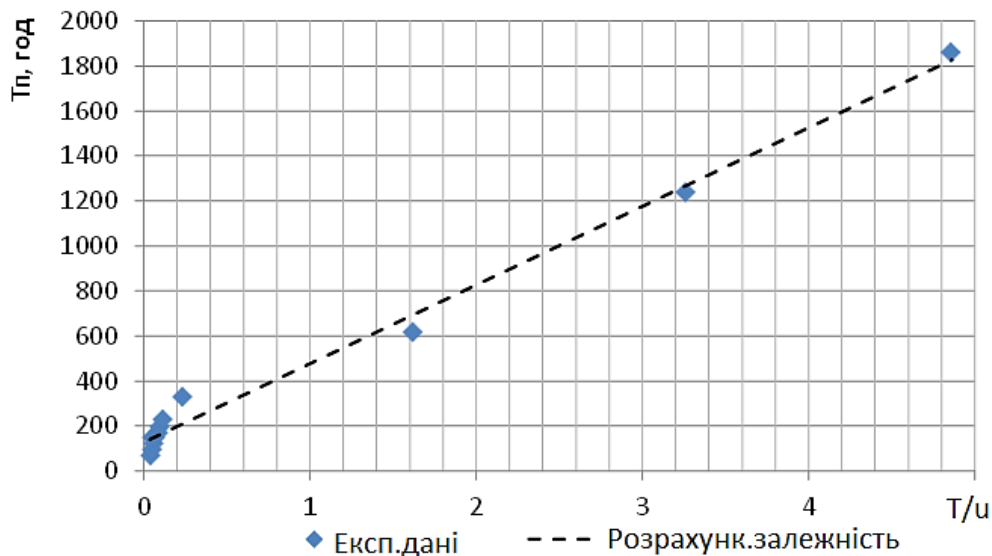


Рисунок 1 – Результати обчислювального експерименту та їх лінійна апроксимація

Аналіз експериментальних даних показав, що залежність часу проскоку від швидкості потоку має виражений функціональний характер і може бути описана лінійною поліноміальною моделлю (рис. 1). Перший доданок (кутовий коефіцієнт) моделі відображає вплив гідродинаміки на час контакту між рідкою фазою та адсорбентом. Зі зростанням швидкості потоку зменшується час перебування розчину в колонці, що призводить до більш раннього проскоку домішки. Відповідний коефіцієнт можна розглядати як інтегральну

характеристику досліджуваної системи системи, яка враховує висоту шару адсорбенту, його ємність та початкову концентрацію барвника.

Другий доданок (вільний член моделі) є константою, що не залежить від швидкості потоку, і очевидно характеризує кінетичні обмеження процесу. Його наявність свідчить про те, що адсорбція не є миттєвою і визначається не лише рівноважними, а й «масопереносними» процесами. Зокрема, значний внесок можуть мати зовнішній масообмін та внутрішня дифузія в порах активованого вугілля. Об'єктивно це означає, що навіть при високих швидкостях потоку існує певний мінімальний час, необхідний для формування фронту адсорбції. Така поведінка є характерною для систем із розвиненою кінетикою і кінцевою товщиною зони масопереносу.

Слід зазначити, що отримана залежність добре узгоджується з відомими інженерними моделями, зокрема підходом BDST – Bed Depth Service Time [1], що підтверджує адекватність проведеного моделювання.

В практичному аспекті, лінійна залежність $T_n=f(1/u)$ свідчить про можливість використання простої інженерної моделі для прогнозування роботи адсорбційного шару. Збільшення швидкості потоку закономірно призводить до істотного зменшення часу захисної дії шару, що необхідно враховувати при проектуванні промислових установок. Наявність додатного вільного члена вказує на суттєву роль кінетичних факторів, що обмежують швидкість адсорбції. Це означає, що підвищення ефективності процесу можливе за рахунок зменшення розміру частинок адсорбенту, інтенсифікації масопереносу, оптимізації структури пор тощо.

Отримана модель може бути використана для масштабування процесу та визначення оптимальних режимів експлуатації адсорбційних колон.

Вище представлено один з аспектів комплексного дослідження процесу адсорбційного очищення води від органічних барвників у нерухомому шарі активованого вугілля з використанням експериментальних та обчислювальних методів. Застосування програмного середовища Aspen Adsorption дозволило відтворити динаміку масопереносу в адсорбційній колоні та отримати узгоджені з експериментом результати. Отримані результати підтверджують, що адсорбційне очищення протікає в умовах «змішаного впливу», коли поряд із рівноважними характеристиками суттєву роль відіграють кінетичні фактори, зокрема зовнішній масообмін та внутрішня дифузія в порах адсорбенту. Показано, що досліджувана система характеризується наявністю розвиненої зони масопереносу скінченної ширини, що визначає ефективність використання адсорбційного шару. Зі збільшенням швидкості потоку зменшується тривалість контакту фаз, що призводить до зниження часу захисної дії шару та потребує оптимізації гідродинамічних режимів роботи. Отримані результати підтверджують доцільність поєднання експериментальних досліджень із математичним моделюванням для глибокого аналізу та оптимізації процесів адсорбційного очищення водних середовищ. Практична цінність отриманих результатів полягає у можливості їх використання для інженерного розрахунку адсорбційних колон, прогнозування тривалості ефективною роботи шару та вибору раціональних умов експлуатації. Запропонований підхід може бути застосований для масштабування процесів очищення води та підвищення їх енергоефективності і надійності.

Дослідження виконано в рамках науково-дослідницьких тем 0124U002058 «Вилучення поллютантів різної природи з багатокомпонентних водних розчинів методами адсорбції та флотації» та 0124U002127 «Комп'ютерне моделювання та оптимізація сталих технологічних схем водного господарства».

ЛІТЕРАТУРА:

1. Karishma S., Kamalesh R., Saravanan A., Yaashikaa P.R., Vickram A.S. AI-driven neural time series network forecasting and cost analysis for dye removal prediction in packed bed adsorption using ultrasonic biomass composites for sustainable wastewater management. Environmental Research. Vol. 289. 2026, 123396. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.envres.2025.123396>.

ПРОГРАМНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ДЛЯ СТАТИСТИЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ МЕТОДОМ МОНТЕ-КАРЛО ДЛЯ ОЦІНКИ ТОЧНОСТІ БІНС РАКЕТИ-НОСІЯ НАДЛЕГКОГО КЛАСУ

Мета даної роботи - розробка частини математичного та програмного забезпечення автоматизації комплексних навігаційних систем ракет-носіїв, яка полягає в оцінці точності безплатформної інерціальної навігаційної системи (БІНС) ракети-носія (РН) надлегкого класу в процесі виведення космічного апарату на навколосезну орбіту. Наведено математичну модель руху ракети-носія в умовах впливу похибок безплатформної інерціальної навігаційної системи. Розроблено програмне забезпечення мовою C++ з використанням паралельних обчислень OpenMP. Проведений аналіз впливу похибок безплатформної інерціальної навігаційної системи на точність виведення космічного апарату на навколосезну орбіту на основі методу Монте-Карло. Представлено стохастичну модель 36 незалежних похибок акселерометрів та гіроскопів.

Одним із ключових завдань математичного та програмного забезпечення автоматизації комплексних навігаційних систем ракет-носіїв є оцінка точності БІНС. Результати такої оцінки визначають вимоги до точнісних характеристик чутливих елементів і є вихідними даними при проектуванні системи керування РН [2]. У попередній роботі авторів [1] розроблено та програмно реалізовано математичну модель БІНС на основі кватерніонних кінематичних рівнянь та алгоритм перерахунку вектора стану космічного апарату (КА) в кеплерові елементи орбіти. Дана робота є продовженням цих досліджень і присвячена реалізації методу Монте-Карло (ММК) - інструменту статистичного оцінювання точності виведення КА при одночасній дії всього спектра похибок БІНС [3].

Похибки БІНС. Сучасні РН надлегкого класу обладнуються БІНС, які забезпечують автономне визначення параметрів руху, мають мінімальні габаритно-масові характеристики та мінімальне енергоспоживання. Однак вплив похибок БІНС призводить до відхилень РН від номінальної траєкторії польоту [2] і до відхилень параметрів руху КА в момент відділення від РН. Згідно з [2], в якості джерел похибок розглядаються інструментальні властивості інерціальних чутливих елементів (акселерометрів та гіроскопів), а також методичні похибки початкової виставки. Серед них: дрейф нуля, шум вимірювань, похибка масштабного коефіцієнту, похибка встановлення осі чутливості в номінальне положення, тощо. Повна модель нараховує 36 незалежних складових похибок [2].

Метод Монте-Карло. У методі ММК кожна i -та складова похибки δx_i розглядається як незалежна центрована випадкова величина з нормальним законом розподілу [3]:

$$\delta x_i \sim N(0, \sigma_i^2), \quad \sigma_i = \delta x_i^{\text{г}} / 3, \quad (1)$$

де $\delta x_i^{\text{г}}$ – граничне значення i -тої похибки на рівні $\pm 3\sigma$, що відповідає довірчій імовірності 0,9973. Алгоритм ММК включає п'ять етапів: 1) формування вектора номінальних початкових умов; 2) генерацію для кожної з N реалізацій вектора 36 незалежних випадкових похибок згідно з (1) та обчислення кутів помилкової початкової виставки; 3) чисельне інтегрування збурених рівнянь руху методом Рунге-Кутта 4-го порядку по всій активній ділянці траєкторії; 4) визначення кеплерових елементів орбіти в момент відділення КА та обчислення їх відхилень від номінальних значень; 5) статистична обробка результатів комп'ютерного моделювання. За вибіркою $N = 1000$ реалізацій обчислюються математичне сподівання, середнє квадратичне відхилення (СКВ) та граничні відхилення ($\pm 3\sigma$) кожного параметра орбіти КА.

Програмна реалізація. Програмне забезпечення розроблено мовою C++ (стандарт C++17) [5]. Архітектура програми побудована на принципах об'єктно-орієнтованого програмування: виокремлено класи вектора стану навігаційної системи, моделі похибок та інтегратора рівнянь руху. Основні компоненти реалізовані у вигляді ієрархії класів з використанням інкапсуляції, наслідування та поліморфізму [5]. Паралелізація обчислень засобами бібліотеки OpenMP дозволяє виконувати N незалежних реалізацій ММК одночасно на K процесорних ядрах, скорочуючи час розрахунку приблизно у K разів. Генерація псевдовипадкових чисел з нормальним розподілом виконується методом Бокса–Мюллера; кожен потік отримує власний генератор з унікальним *seed*, що гарантує статистичну незалежність реалізацій та відтворюваність результатів.

Результати та висновки. Розроблено програмне забезпечення оцінки точності БІНС РН надлегкого класу в процесі виведення КА на навколосемну орбіту із застосуванням методу Монте-Карло та паралельних обчислень OpenMP.

Основні результати роботи:

1. Розроблено стохастичну модель 36 незалежних похибок акселерометрів та гіроскопів БІНС згідно з формулами монографії [2].

2. Реалізовано алгоритм ММК з чисельним інтегруванням збурених рівнянь руху методом Рунге-Кутта 4-го порядку; отримано статистичні характеристики відхилень параметрів цільової орбіти.

3. Показано, що використання паралельних обчислень OpenMP скорочує час оцінки точності приблизно в K разів, де K — кількість доступних процесорних ядер.

4. Встановлено, що домінуючими джерелами відхилень параметрів орбіти є дрейф нуля гіроскопів та похибки початкової виставки БІНС, що узгоджується з теоретичними оцінками [2].

5. Програмне забезпечення автоматично формує звіти з матрицею граничних відхилень та рейтингом домінуючих факторів, що спрощує аналіз результатів..

Перспективою подальшого розвитку є розробка алгоритмів комплексування БІНС із супутниковими навігаційними системами та зірковими датчиками і синтез фільтра Калмана для уточнення навігаційних параметрів на активній ділянці траєкторії.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Кривенко В. В., Голубек О. В. Розробка програмного забезпечення для моделювання роботи безплатформної інерціальної навігаційної системи ракети-носія надлегкого класу. *Current state and development trends of science and education : матеріали III Міжнар. наук.-практ. конф.* (Дніпро, 5 січ. 2026 р.). Research Europe, 2026. С. 101–104. DOI: <https://doi.org/10.64076/ihrc260105.09>.
2. Голубек А. В., Татаревский К. Е., Филиппенко И. М. Априорная оценка точности выведения космических аппаратов современными ракетами-носителями с БИНС : монография / под ред. акад. НАН Украины А. В. Дегтярёва. Днепр : ЛИРА, 2020. 187 с.
3. Robert C. P., Casella G. Monte Carlo Statistical Methods. 2nd ed. New York : Springer, 2004. 645 p.
4. Titterton D. H., Weston J. L. Strapdown Inertial Navigation Technology. 2nd ed. London : The Institution of Electrical Engineers, 2004. 581 p.
5. Stroustrup B. The C++ Programming Language. 4th ed. Boston : Addison-Wesley, 2013. 1360 p.

ЗАСТОСУВАННЯ ЦИФРОВИХ ДВІЙНИКІВ ДЛЯ ПРОГНОЗУВАННЯ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ ОБЛАДНАННЯ

Зростання складності виробничих систем вимагає впровадження інструментів для оцінки та прогнозування технічного стану обладнання. Основною задачею є створення цифрового двійника, який дозволяє моделювати роботу виробничої дільниці, аналізувати показники ефективності та прогнозувати відмови обладнання.

Метою є розробка цифрового двійника виробничої дільниці обробки деталі типу важіль підвіски та дослідження впливу технічного стану обладнання на продуктивність системи.

Наукова новизна полягає у застосуванні імітаційного цифрового двійника для оцінки впливу параметрів надійності обладнання на продуктивність виробничої системи.

Було створено імітаційну модель виробничої дільниці обробки деталі типу важіль підвіски у середовищі Tecnomatix Plant Simulation. Модель включає основні етапи виробництва: лиття, очищення, механічну обробку на двох верстатах з ЧПК, буферну зону та роботизовану комірку.

Особливу увагу приділено моделюванню відмов обладнання. Для цього використано параметри MTBF та MTTR, що дозволяють імітувати реальні умови експлуатації. На основі цих даних формується статистика завантаження, простоїв та відмов.

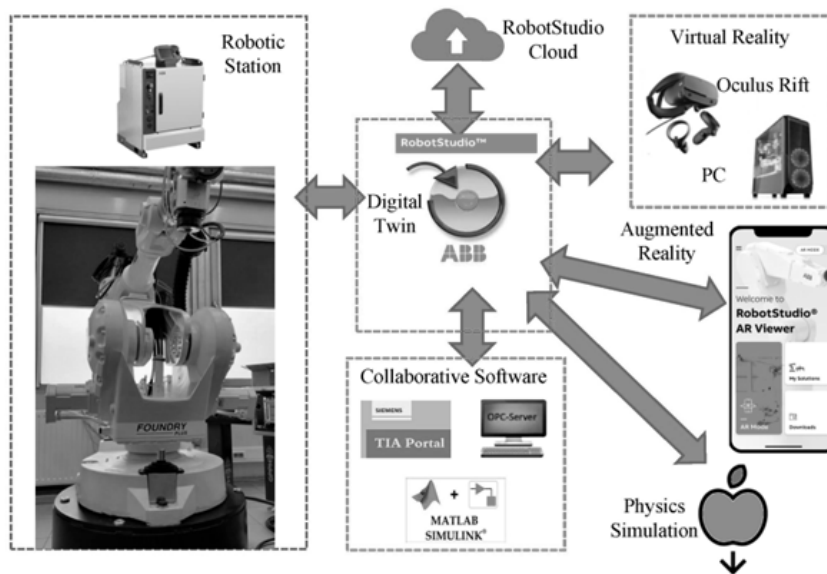


Рисунок 1 - Загальна архітектура цифрового двійника виробничої системи

На рис. 1 наведено загальну архітектуру цифрового двійника виробничої системи. Вона включає фізичний об'єкт (роботизовану станцію), його віртуальну модель (Digital Twin), а також інтеграцію з хмарними сервісами, системами моделювання та доповненої реальності.

Цифровий двійник забезпечує двосторонній обмін даними між фізичною та віртуальною системами, що дозволяє здійснювати моніторинг, аналіз та прогнозування технічного стану обладнання[1].

У даній роботі використано спрощену реалізацію такого підходу у вигляді імітаційної моделі виробничої дільниці.

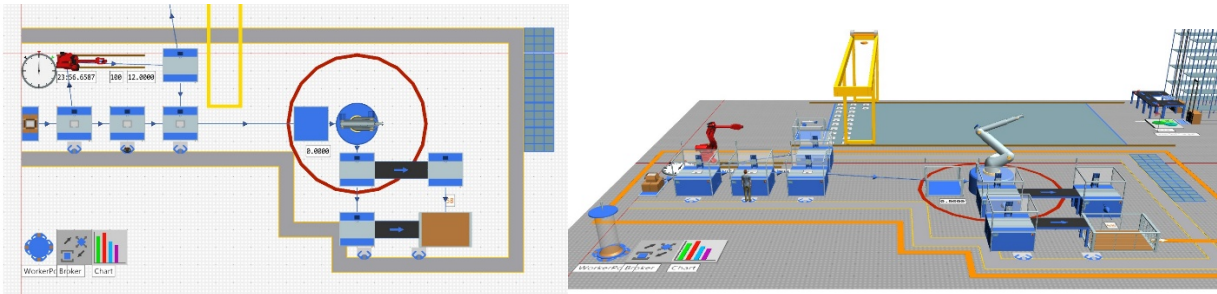


Рисунок 2 - Модель цифрового двійника ділянки лінії виробництва деталі типу важіль в Siemens Tecnomatix Plant Simulation

Цифровий двійник (рис. 2) реалізовано у середовищі Siemens Tecnomatix Plant Simulation. Структура моделі відповідає реальній виробничій дільниці та включає етапи подачі заготовок (Source), лиття (Casting), очищення (Cleaning), обробки на верстатах з ЧПК CNC_1 та CNC_2, буферного накопичення (Buffer), роботизованої зони транспортування, контролю якості (Quality) та виводу готової продукції (Drain)[2].

Особливістю моделі є наявність роботизованої комірки між буфером та другим верстатом з ЧПК, що імітує реальний процес подачі деталі.

У процесі створення цифрового двійника було виконано побудову структури матеріального потоку, налаштування параметрів обробки, зокрема часу виконання операцій, а також моделювання відмов обладнання з використанням експоненціального розподілу (Negexp). Додатково було задано параметри надійності обладнання, такі як середній час напрацювання до відмови (MTBF) та середній час відновлення (MTTR). У моделі реалізовано інтеграцію збору статистичних даних, включаючи показники завантаження, простоїв та відмов, а також забезпечено візуалізацію отриманих результатів за допомогою графічних засобів.

Для аналізу технічного стану обладнання застосовуються показники завантаження, простоїв, відмов та пропускної здатності виробничої системи, які комплексно характеризують ефективність її функціонування. Модель дозволяє досліджувати вплив частоти відмов на загальну продуктивність, а також визначати вузькі місця виробництва[3].

Висновки. У результаті моделювання встановлено, що зниження показника MTBF призводить до зростання простоїв і зменшення пропускної здатності виробничої системи. Визначено, що верстат CNC_2 є потенційним вузьким місцем при підвищеній інтенсивності відмов.

Розроблений цифровий двійник дозволяє ефективно аналізувати технічний стан обладнання та прогнозувати його вплив на виробничий процес. Запропонований підхід створює передумови для впровадження прогнозного технічного обслуговування та підвищення ефективності виробництва.

Встановлено, що зниження MTBF на 30% призводить до зменшення пропускної здатності системи приблизно на 15–20%.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Бойко В. В. Імітаційне моделювання виробничих систем. Київ: НТУУ «КПІ», 2018.
2. Siemens Tecnomatix Plant Simulation документація.
3. К. М. Краус, Н. М. Краус, О. В. Штепа. Індустрія X.0 і індустрія 4.0 в умовах цифрової трансформації та інноваційної стратегії розвитку національної економіки. Київ, *Ефективна економіка* №5, 2021

KINEMATIC MODELING AND AI-BASED CONTROL OF A SIX-DOF ROBOTIC MANIPULATOR

Introduction. The rapid development of robotics and artificial intelligence technologies requires the creation of adaptive and safe robotic systems capable of operating in dynamic environments and interacting with humans. Six-degree-of-freedom (6-DOF) robotic manipulators are widely used in industrial automation due to their flexibility and ability to perform complex spatial movements.

One of the key challenges in the development of robotic systems is the accurate description of their kinematic behavior and the implementation of effective control algorithms. Mathematical modeling plays a crucial role in solving this problem, allowing the prediction and analysis of manipulator motion.

Recent studies focus on the application of the Denavit–Hartenberg method for kinematic modeling and the use of simulation environments such as MATLAB/Simscape for analyzing robotic systems [1, 2]. At the same time, modern research emphasizes the integration of artificial intelligence methods to improve safety, adaptability, and efficiency of robotic manipulators.

The purpose of this work is to develop a kinematic model of a six-DOF anthropomorphic robotic manipulator, implement its simulation in MATLAB/Simscape, and analyze the applicability of artificial intelligence methods for improving control and safety. The structure of the manipulator is shown in (Fig. 1).

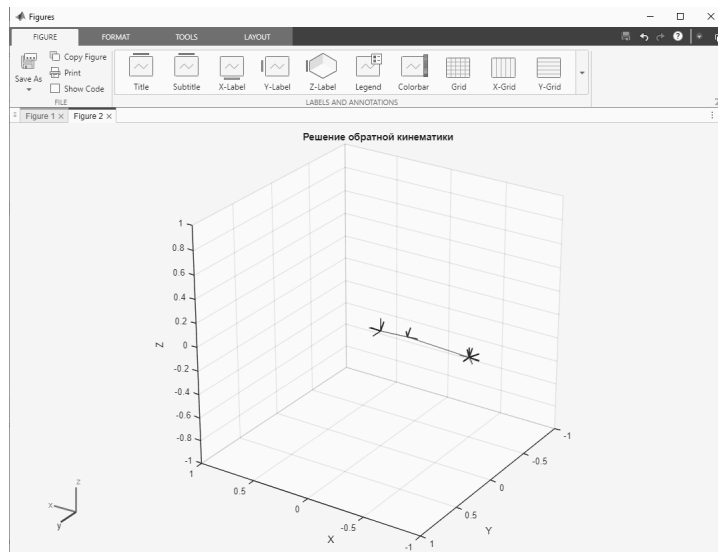


Figure 1 – Kinematic structure of the six-DOF robotic manipulator

Description of the research and methods. The object of research is a six-degree-of-freedom anthropomorphic robotic manipulator with a serial kinematic structure (RRRRRR configuration) [3]. The manipulator consists of rigid links connected by revolute joints, forming an open kinematic chain.

The generalized coordinate vector of the manipulator is defined as formula (1), where θ_i represents the rotation angle of the i -th joint.

$$q = \theta[\theta_1 \theta_2 \theta_3 \theta_4 \theta_5 \theta_6]\theta^T \quad (1)$$

The kinematic model of the manipulator is constructed using the Denavit–Hartenberg (DH) method [2, 3], which is widely used for describing spatial mechanisms. The transformation from the

base coordinate system to the end-effector is obtained by multiplying homogeneous transformation matrices of individual links as formula (2).

$$T_0^6 = T_0^1 T_1^2 T_2^3 T_3^4 T_4^5 T_5^6 \quad (2)$$

This matrix defines the position and orientation of the end-effector in three-dimensional space. The developed DH model serves as the basis for constructing control algorithms and further improving the robotic system.

A simulation model was developed in MATLAB using the Simscape Multibody package to analyze the kinematic behavior of the manipulator. The CAD model of the manipulator was imported into the simulation environment to generate a multibody system and shown in (Fig. 2). The simulation model represents the manipulator as a multibody system consisting of rigid bodies connected by revolute joints. The motion of the system is defined by time-dependent joint angles.

The simulation environment allows:

- visualization of manipulator motion;
- analysis of joint trajectories;
- evaluation of the workspace;
- verification of the kinematic model.

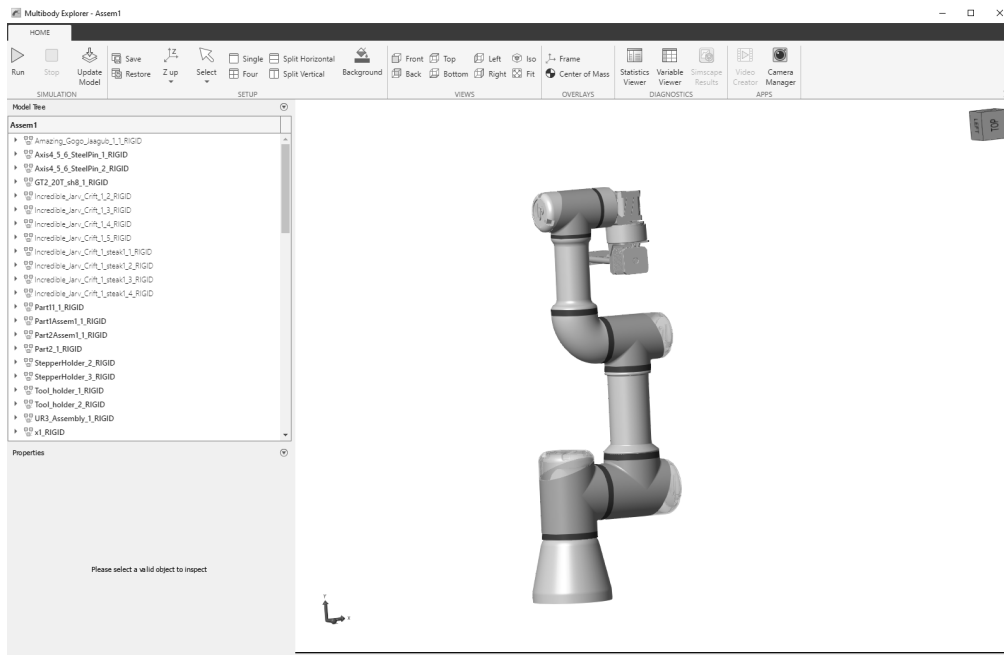


Figure 2 – Simulation model of the robotic manipulator in MATLAB/Simscape

Artificial intelligence methods can be integrated into the control architecture to enable collision prediction, adaptive trajectory planning, and safe human-robot interaction. The integration of this system is planned for future work.

As a result of the study, a kinematic model of a six-DOF robotic manipulator was developed using the Denavit–Hartenberg method and implemented in the MATLAB/Simscape environment with shown in (Fig.2).

Simulation experiments were conducted to analyze the motion of the manipulator. The obtained results demonstrate stable and consistent movement of the end-effector according to predefined joint trajectories.

The correctness of the kinematic model was verified through visualization and analysis of motion in the simulation environment. The trajectories of the end-effector correspond to the expected behavior of the system.

In addition, an experimental prototype of the robotic manipulator was developed. A comparison between simulation results and the behavior of the physical prototype showed consistency, confirming the applicability of the proposed model.

The obtained results indicate that the developed model can be effectively used for further research and development of control algorithms. The experimental prototype is shown in (Fig. 3).

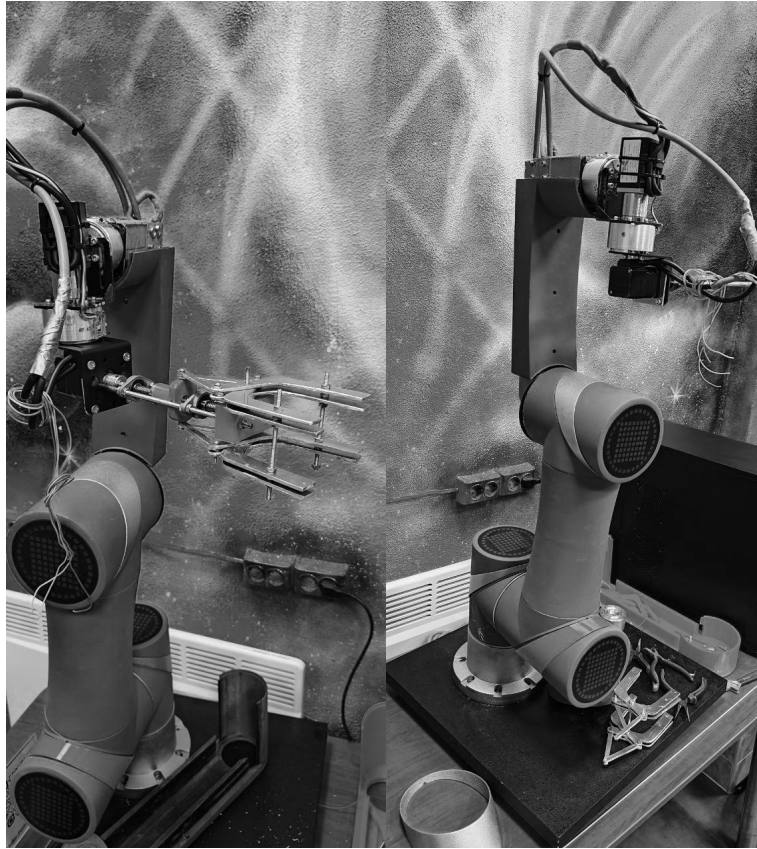


Figure 3 – Experimental prototype of the robotic manipulator

Conclusions. A kinematic model of a six-degree-of-freedom robotic manipulator was developed using the Denavit–Hartenberg method and implemented in MATLAB/Simscape.

The simulation results confirmed the correctness of the model and its consistency with the behavior of the experimental prototype. This validates the applicability of the proposed approach for describing real robotic systems.

The developed model provides a foundation for further research on intelligent control systems, trajectory planning, and safe human-robot interaction. Future work will focus on the integration of artificial intelligence algorithms for improving adaptability and autonomy of robotic manipulators.

REFERENCES:

1. H. N. Ghafil, K. Jármai, "Optimization for Robot Modelling with MATLAB", (2020).
2. R. Balasubramanian, "The Denavit Hartenberg Convention," USA: Robotics Insitute Carnegie Mellon University, (2011).
3. Xiao Junming, Han Wei, et al. "Kinematic analysis and simulation study of six-degree-of-freedom robotic arm", (2018).

СЕКЦІЯ
«КОМП'ЮТЕРИЗОВАНІ СИСТЕМИ
ТА МЕРЕЖІ ПЕРЕТВОРЕННЯ
ТА ОБРОБКИ ІНФОРМАЦІЇ»

МОДЕЛЮВАННЯ ІНТЕГРАЦІЇ ERP-СИСТЕМИ ODOO З МАРКЕТПЛЕЙСОМ OLX НА ОСНОВІ UML

На сьогодні підприємства активно переходять на використання ERP-систем для організації обліку ресурсів, складських операцій та продажів. Одним із популярних рішень є Odoo завдяки її модульній структурі та відносно простій можливості розширення функціоналу[1].

Водночас значна частка продажів проходить через онлайн-майданчики, зокрема OLX. При ручному перенесенні даних про товари (найменування, опис, ціна, фото тощо) між ERP та маркетплейсом виникають суттєві витрати часу, зростає ймовірність помилок, порушується актуальність цін і статусів, а оновлення інформації відбувається із затримками.

Тому розробка моделі автоматичної інтеграції між ERP-системою та зовнішнім маркетплейсом виглядає доцільною задачею, яка дозволяє оптимізувати процеси створення, редагування та синхронізації оголошень.

Проблематика інтеграції корпоративних інформаційних систем з зовнішніми сервісами вже достатньо широко висвітлена в літературі. Сучасні ERP-системи, включно з Odoo, підтримують взаємодію через RESTful API та стандарти авторизації OAuth 2.0. У наукових публікаціях часто зустрічаються описи сервісно-орієнтованої архітектури (SOA), мікросервісних підходів, а також використання UML для моделювання бізнес-процесів та точок інтеграції.

Водночас конкретні кейси інтеграції Odoo саме з OLX (або подібними локальними класифайдами) у відкритих джерелах представлені фрагментарно. Існують окремі модулі та комерційні конектори, але формалізовані моделі взаємодії з використанням UML для цієї пари систем практично не описані. Це визначає необхідність самостійної побудови такої моделі.

Формулювання мети

Метою роботи є створення функціональної моделі інтеграції ERP-системи Odoo з маркетплейсом OLX з використанням UML-діаграми варіантів використання (Use Case Diagram) та описом основних механізмів обміну даними між внутрішніми модулями Odoo та зовнішнім API OLX.

Для опису бізнес-процесу інтеграції ERP-системи Odoo з маркетплейсом OLX розроблено UML-діаграму варіантів використання(рис.1). Вона дозволяє чітко представити, як система обробляє товари від моменту їх створення в Odoo до повноцінної публікації, оновлення та управління статусами на стороні OLX. [2]

Робота модуля починається зі створення товару в інтерфейсі Odoo: адміністратор (менеджер продажів) заповнює основні поля - назву, опис, ціну, категорію, характеристики та додає зображення. Цей крок є базовим і необхідним для всіх подальших дій з публікацією.

Після створення товару система може ініціювати публікацію оголошення на OLX. Перед будь-яким зверненням до зовнішнього API обов'язково виконується авторизація за протоколом OAuth 2.0 - отримується токен доступу, який використовується для всіх наступних запитів[3]. Далі формується структурований JSON-запит на основі даних товару з Odoo і надсилається на сервер OLX методом POST. У разі успішної відповіді система отримує унікальний ідентифікатор оголошення, який відразу зберігається в базі даних Odoo. Після цього проводиться синхронізація статусу: модуль перевіряє, чи оголошення дійсно опубліковане, і оновлює відповідні поля в картці товару (наприклад, посилання на оголошення, статус, дата публікації).

Аналогічна логіка застосовується при оновленні оголошення. Якщо адміністратор змінює ціну, опис чи інші параметри в Odoo, модуль знову проходить авторизацію (якщо токен протермінований), а потім надсилає запит на оновлення (PUT або PATCH) з актуальними

даними. Після успішного виконання обов'язково виконується синхронізація статусу, щоб переконатися, що зміни застосовано і оголошення не заблоковане чи не відхилене модератором OLX.

Для деактивації оголошення (зняття з публікації) модуль використовує відповідний запит до API (наприклад, зміна статусу або DELETE-ендпоінт, залежно від специфікації OLX), знову з обов'язковою авторизацією та подальшою синхронізацією статусу в Odoo - щоб картка товару відображала актуальний стан (наприклад, «деактивовано на OLX»).

Окремо передбачено механізм періодичної синхронізації статусів: за розкладом (наприклад, раз на годину чи день) модуль надсилає GET-запити до OLX API за збереженими ідентифікаторами оголошень, перевіряє їх поточний стан (активне, заблоковане, видалене тощо) і автоматично оновлює дані в Odoo. Це дозволяє своєчасно реагувати на зовнішні зміни без ручного втручання[4].

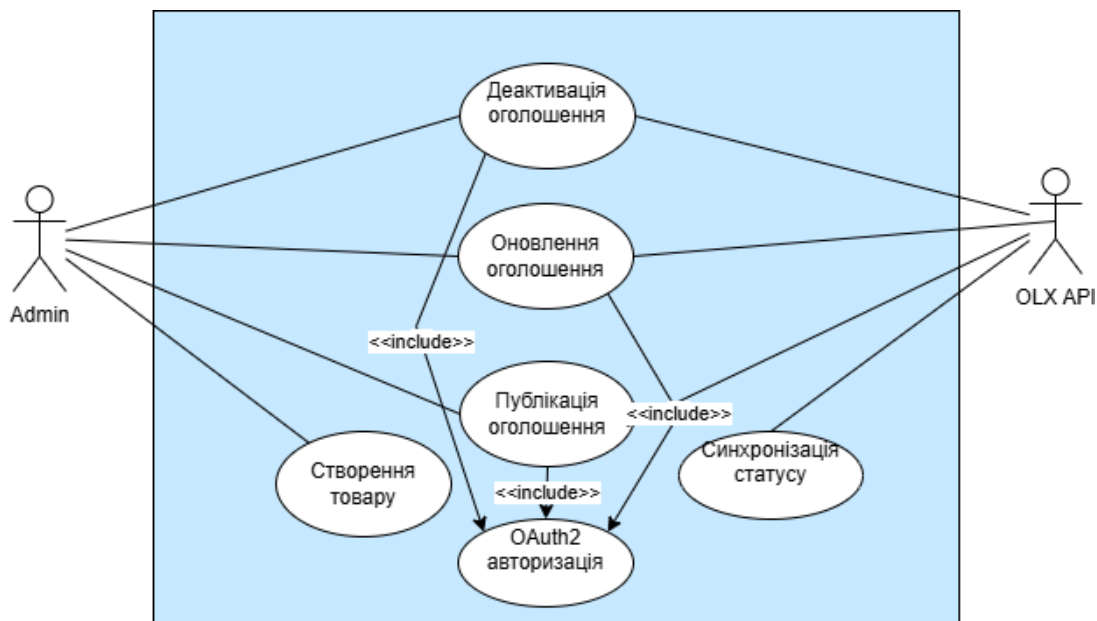


Рисунок 1 – UML-діаграма варіантів використання інтеграції Odoo з OLX

Вся взаємодія побудована на клієнт-серверній моделі з використанням стандартних HTTP-методів REST API. Повторне використання авторизації та синхронізації статусу як допоміжних процесів (через механізм включення) дозволяє уникнути дублювання коду та забезпечити стабільність інтеграції[3].

Запропонована модель чітко окреслює послідовність операцій, ключові точки інтеграції та залежності між процесами, що робить її зручною основою для програмної реалізації кастомного модуля в Odoo (наприклад, на Python з використанням requests або odoo rpc для внутрішньої логіки).

Побудована UML-діаграма варіантів використання також дозволяє чітко визначити ролі учасників системи та їх взаємодію з основними функціональними модулями. Основним актором виступає адміністратор системи (менеджер продажів), який ініціює ключові бізнес-процеси, пов'язані з управлінням товарами та оголошеннями. Водночас зовнішнім актором є API маркетплейсу OLX, який забезпечує обробку запитів, модераторську та публікацію оголошень.

Діаграма демонструє, що більшість сценаріїв використання пов'язані між собою через відношення <<include>>, що свідчить про наявність спільних підпроцесів. Зокрема, авторизація та синхронізація статусу є обов'язковими складовими практично кожної операції взаємодії з OLX.

Крім того, модель враховує можливі виняткові ситуації, які можуть виникати під час інтеграції. Наприклад, у разі помилки авторизації або втрати чинності токена доступу система

повинна автоматично ініціювати повторне отримання токена. У випадку невдалої публікації або оновлення оголошення передбачається обробка помилок, логування та інформування користувача про причини відмови (наприклад, невідповідність вимогам OLX або помилки у форматі даних).

Висновки. У рамках роботи розроблено функціональну модель інтеграції Odoo з OLX на основі UML-діаграми варіантів використання. Запропонований підхід дозволяє описати та формалізувати процес автоматичного розміщення, оновлення та синхронізації оголошень, що зменшує ручну працю, знижує кількість помилок і забезпечує своєчасне оновлення даних на маркетплейсі.

Наукова новизна полягає в застосуванні UML-моделювання саме до задачі інтеграції Odoo з OLX Partner API, оскільки подібні конкретні моделі у відкритих джерелах раніше не фіксувалися.

Практична цінність полягає у можливості використання моделі як технічного завдання для розробки модуля інтеграції, що буде корисним для малих та середніх підприємств, які активно продають через OLX і вже використовують (або планують впровадити) Odoo.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Odoo Documentation. URL: <https://www.odoo.com/documentation> (дата звернення: 24.03.2026).
2. Fowler M. UML Distilled: A Brief Guide to the Standard Object Modeling Language. Addison-Wesley, 2004. 208 p.
3. Richardson L., Amundsen M., Ruby S. RESTful Web APIs. O'Reilly Media, 2013. 408 p.
4. OLX API Documentation. URL: <https://developer.olx.ua/api/doc> (дата звернення: 24.03.2026).

ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ УПРАВЛІННЯ РЕСУРСАМИ В РОЗПОДІЛЕНИХ СИСТЕМАХ НА БАЗІ ПЛАТФОРМИ VOINC

Експоненційне зростання обсягів даних у сучасних наукоємних дослідженнях формує безперервний запит на масштабування обчислювальних потужностей. Особливо гостро ця проблема постає в проєктах космічної галузі та астрофізики (аналіз сигналів з радіотелескопів чи обробка даних інтерферометрів для пошуку гравітаційних хвиль), де обсяг первинної інформації вимірюється петабайтами [1]. Екстенсивне нарощування централізованих ресурсів у вигляді суперкомп'ютерів та хмарних центрів обробки даних стикається з фундаментальними фізичними (обмеження закону Мура та масштабування Деннарда) та економічними бар'єрами. Альтернативною парадигмою для розв'язання задач із високим рівнем паралелізму виступає концепція волонтерських обчислень, де-факто стандартом якої є відкрита програмна платформа VOINC [2]. Незважаючи на успішну експлуатацію платформи у глобальних ініціативах, проблема теоретичної оптимізації алгоритмів диспетчеризації ресурсів в умовах крайньої гетерогенності обладнання, нестабільності вузлів та високої затримки мережі потребує подальшого дослідження [3].

Метою роботи є дослідження архітектурних особливостей та математичних моделей диспетчеризації в децентралізованих гетерогенних мережах на базі VOINC, механізмів забезпечення відмовостійкості та проведення порівняльної оцінки сукупної вартості утримання таких систем.

Модель VOINC базується на асиметричній багаторівневій парадигмі «головний-підлеглий». На відміну від класичних кластерних систем (наприклад, на базі MPI), де сервер має прямий доступ до обчислювальних вузлів, взаємодія у VOINC ініціюється виключно з боку підлеглих пристроїв за моделлю періодичних запитів через захищені протоколи передачі гіпертексту. Цей архітектурний вибір елегантно розв'язує проблему проходження мережевих екранів та механізмів трансляції мережевих адрес у недовіреніх глобальних мережах [4].

Серверна частина є складним комплексом взаємопов'язаних елементів. Базовими компонентами є: реляційна база даних (зберігання станів завдань і вузлів); генератор переходів (відповідає за зміну станів обчислювальних блоків та генерацію реплік); модуль постачання (підтримує пул готових завдань у спільно використовуваній пам'яті сервера для мінімізації затримок вводу-виводу бази даних); планувальник (обробляє запити клієнтів за протоколом віддаленого виклику процедур, видає завдання та приймає результати); валідатор та асимілятор (забезпечують перевірку та інтеграцію отриманих даних).

Управління ресурсами в умовах гетерогенності є багатовимірною задачею оптимізації. Очікуваний час виконання завдання t_i на вузлі n_j моделюється не лише як функція обчислювальної складності S_i та продуктивності P_j , а й з урахуванням апаратних обмежень вузла. Локальний клієнт перед запитом нових завдань оцінює власну спроможність за формулою:

$$E_{i,j} = \frac{S_i}{P_j} K_p + C_o \quad (1)$$

де K_p – коефіцієнт штрафу, що враховує температурний тротлінг процесора або конкуренцію за кеш-пам'ять з боку фонових процесів операційної системи; C_o – накладні витрати часу на мережеву передачу та ініціалізацію процесу. Додатково планувальник перевіряє обмеження доступної оперативної пам'яті.

Локальний планувальник VOINC використовує гібридний алгоритм на основі пріоритету раннього терміну виконання.

Система постійно розраховує симульований розклад виконання завдань, що перебувають у локальній черзі. Якщо симуляція показує, що для завдання t_i час до настання дедлайну наближається до $E_{i,j}$ з урахуванням буферного часу безпеки, клієнт ініціює примусове витіснення (збереження стану процесу на жорсткий диск і звільнення ресурсів) інших менш пріоритетних процесів для гарантування вчасної відправки результату. Крім того, планувальник балансує виділення процесорного часу між різними підключеними проектами відповідно до квот, визначених користувачем, використовуючи механізм відстеження накопиченого боргу процесорного часу.

Сучасні реалізації платформи активно використовують архітектуру графічних прискорювачів для виконання паралельних розрахунків через програмні інтерфейси OpenCL та CUDA. Диспетчеризація завдань на відеокарти має свою специфіку: планувальнику необхідно враховувати не лише продуктивність графічного ядра, але й пропускну здатність шини PCI Express, а також обсяг відеопам'яті. Використання співпроцесорів вимагає виділення частини ресурсів центрального процесора для управління потоком інструкцій, що додатково ускладнює граф залежностей під час локального планування ресурсів вузла.

Враховуючи функціонування вузлів у недовіреному середовищі, система стикається з проблемою відмов, коли вузол може навмисно (фальсифікація результатів задля отримання рейтингу) або ненавмисно (бітові помилки через перегрів кристала, програмні помилки) відправляти хибні результати. Ця проблема вирішується через строгий алгоритм надлишкових обчислень.

Економічна доцільність розгортання таких систем спирається на глибокий аналіз сукупної вартості підтримки. У традиційних хмарних сервісах маржинальна вартість одного обчисленого терафлопса є сталою, формуючи безперервні операційні витрати, прямо пропорційні часу обчислень. Модель децентралізованих обчислень характеризується високими початковими капітальними витратами на адаптацію математичного апарату задачі до API платформи та розгортання серверної інфраструктури. Однак, система повністю виділяє найбільші складові витрат – амортизацію апаратного забезпечення, електроспоживання та охолодження (вони покриваються власниками обчислювальних вузлів). Економічна ефективність досягається лише тоді, коли обсяг задач перевершує стартові витрати розробки, що робить цей підхід оптимальним виключно для довгострокових великомасштабних проєктів.

Висновки. Децентралізовані гетерогенні системи на базі архітектури BOINC є технічно зрілою, математично обґрунтованою та економічно доцільною альтернативою централізованим рішенням для класу задач із високою пропускну здатністю. Розроблений підхід до локальної диспетчеризації на основі дедлайнів та квотування може успішно нівелювати проблеми гетерогенності вузлів. Обґрунтовується, що алгоритми нечіткого консенсусу надійно блокують відмови у недовірених мережах. Водночас фундаментальні архітектурні обмеження (висока мережева затримка, асинхронність обміну даними) роблять цю парадигму абсолютно непридатною для деяких задач. Практичне розгортання подібних кластерів у межах українських ЗВО дозволяє не лише підтримувати глобальні наукові ініціативи, а й створює фундаментальну базу для прикладного дослідження гетерогенних мереж перетворення інформації.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Āurech, J., Vávra, M., Vančo, R., & Erasmus, N. (2022). Rotation periods of asteroids determined with bootstrap convex inversion from ATLAS photometry. *Frontiers in Astronomy and Space Sciences*, 9. doi:10.3389/fspas.2022.809771.
2. Nieder, L., Clark, C. J., Kandel, D., Romani, R. W., Bassa, C. G., Allen, B., ... Steltner, B. (2020). Discovery of a gamma-ray black widow pulsar by GPU-accelerated Einstein@Home. *The Astrophysical Journal. Letters*, 902(2), L46. doi:10.3847/2041-8213/abbc02.
3. Karimi, K., Dickson, N., & Hamze, F. (2011). High-performance physics simulations using multi-core CPUs and GPGPUs in a volunteer computing context. *The International Journal of High Performance Computing Applications*, 25(1), 61–69. doi:10.1177/1094342010372928.
4. Wu, W., Cameron, D., & Qing, D. (2019). Using ATLAS@home to exploit extra CPU from busy grid sites. *Computing and Software for Big Science*, 3(1). doi:10.1007/s41781-019-0023-6.

ТЕХНОЛОГІЇ МЕРЕЖЕВОГО ЗАХИСТУ ЦІЛІСНОСТІ ТА КОНФІДЕНЦІЙНОСТІ BIG DATA У ФІНАНСОВОМУ СЕКТОРІ

Стрімка трансформація фінансового сектору під впливом цифровізації призвела до зміни самої парадигми роботи з інформацією, де технології Big Data стають ключовим активом для банків, податкових органів та фінтех-компаній.

Активне впровадження цифрових банківських платформ, електронних платіжних систем та віддалених сервісів обслуговування клієнтів формує нові підходи до управління інформаційними потоками. Інформація дедалі більше виступає не лише допоміжним ресурсом, а стратегічним чинником забезпечення фінансової стабільності та конкурентоспроможності установ.

Величезні масиви неструктурованих та напівструктурованих даних, що надходять у реальному часі, дозволяють будувати точні скорингові моделі та прогнозувати ринкові тренди.

Застосування алгоритмів машинного навчання та інтелектуального аналізу даних забезпечує автоматизацію прийняття рішень, підвищує ефективність управління ризиками та сприяє формуванню персоналізованих фінансових продуктів.

Проте специфіка великих даних, зокрема їхній обсяг, швидкість генерації та різноманітність форматів, створює безпрецедентні виклики для систем інформаційної безпеки. Розширення цифрової інфраструктури, зростання кількості мобільних пристроїв та використання хмарних технологій значно ускладнюють процес контролю доступу до інформаційних ресурсів.

У фінансовій сфері будь-яке порушення конфіденційності або компрометація цілісності даних може призвести не лише до значних економічних збитків, але й до руйнування репутації інституції та дестабілізації фінансової системи загалом. Втрата довіри клієнтів до фінансових установ здатна спричинити довгострокові негативні наслідки, включаючи зменшення інвестиційної привабливості та підвищення регуляторного тиску. У цьому контексті важливим є звернення до наукового базису захисту даних.

Системний підхід до забезпечення інформаційної безпеки передбачає формування цілісної моделі управління ризиками, що охоплює як технічні, так і організаційні заходи. Зокрема, теоретико-методологічні засади кібернетичного захисту та збереження цілісності інформаційних активів ґрунтовно розкрито в роботі Г. М. Гулака [1].

Запропоновані наукові підходи дозволяють адаптувати класичні моделі безпеки до умов високошвидкісних інформаційних потоків та динамічного розвитку цифрових технологій. Автор акцентує увагу на концептуалізації моделей загроз, що уможливорює критичний аналіз ефективності ешелонованого захисту та оптимізацію процесів впровадження систем виявлення вторгнень у корпоративних мережах.

Застосування таких моделей сприяє підвищенню стійкості мережевої інфраструктури до комплексних кібернетичних атак та забезпечує можливість своєчасного реагування на інциденти. З огляду на це, питання побудови захищеної мережевої інфраструктури, здатної обробляти надвеликі потоки інформації без втрати продуктивності, набуває стратегічного значення. Оптимізація мережевих ресурсів та впровадження високопродуктивних засобів захисту дозволяє досягти балансу між швидкістю обробки даних та рівнем їх безпеки.

Сучасний ландшафт кіберзагроз вимагає перегляду традиційних підходів до захисту мереж, які здебільшого базувалися на довірі до всього, що знаходиться всередині корпоративного периметра.

Поширення цільових атак, програм-вимагачів та складних багатовекторних кібероперацій демонструє необхідність впровадження нових концепцій інформаційної безпеки.

В епоху Big Data, коли дані розподілені між локальними дата-центрами, хмарними сховищами та мобільними точками доступу, концепція захищеного периметра втрачає свою ефективність.

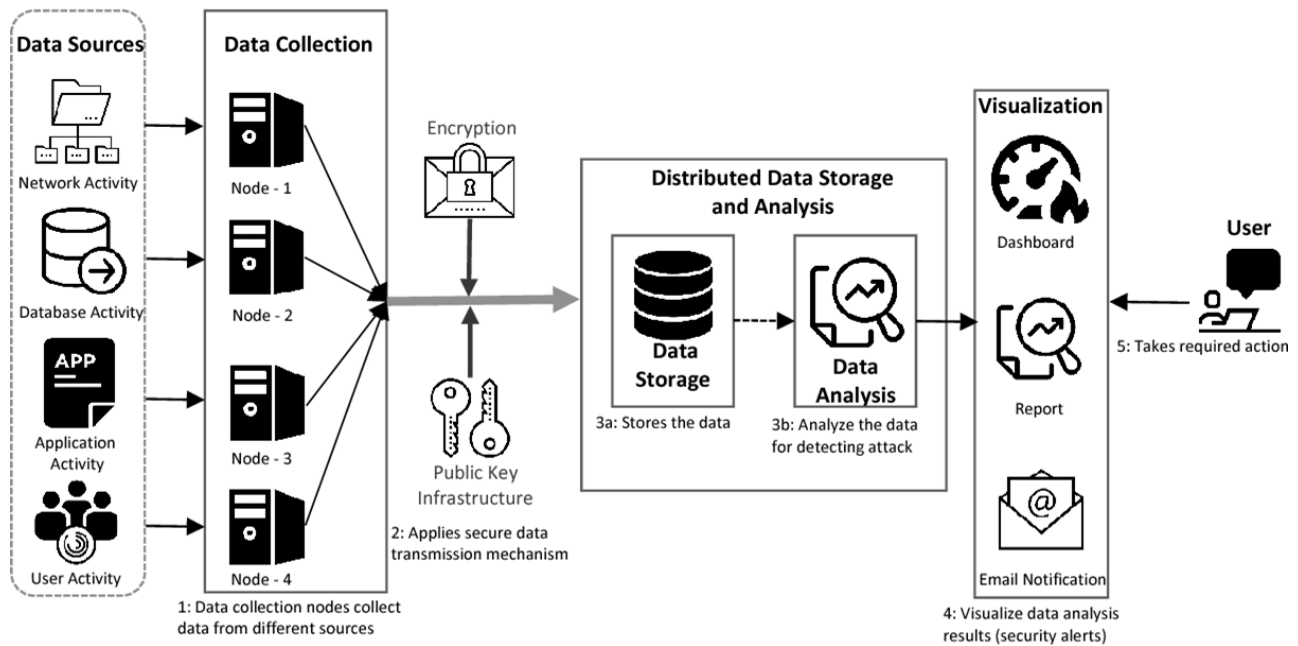


Рисунок 1 – Архітектура обробки та захисту великих даних у системі [2]

Це обумовлює перехід до адаптивних моделей безпеки, що враховують контекст доступу, поведінкові характеристики користувачів та рівень довіри до інформаційних систем.

Натомість актуалізується необхідність впровадження архітектури нульової довіри [3], яка постулює відсутність довіри до будь-якого користувача, пристрою чи програми за замовчуванням, незалежно від їхнього розташування в мережі.

Реалізація цієї концепції передбачає використання багатофакторної автентифікації, постійний моніторинг доступу та сегментацію мережевих ресурсів.

Це вимагає суворої автентифікації та перевірки кожного запиту на доступ до ресурсів даних, що реалізується через механізми мікросегментації та гранульованого контролю доступу. Такий підхід дозволяє мінімізувати ризик несанкціонованого проникнення до критично важливих інформаційних систем.

Одним із найбільш критичних аспектів захисту Big Data є забезпечення конфіденційності інформації під час її передачі каналами зв'язку. У сучасних фінансових мережах передача даних здійснюється через численні комунікаційні середовища, що підвищує ймовірність їх перехоплення або модифікації. Фінансові транзакції, персональні дані клієнтів та аналітичні звіти постійно курсують між різними вузлами мережі, стаючи потенційною мішенню для атак перехоплення або маніпуляції.

Фундаментальним методом захисту тут виступає наскрізне шифрування, проте його застосування до великих обсягів даних створює суттєве навантаження на обчислювальні потужності мережевого обладнання.

Зростання криптографічних операцій може призводити до затримок у роботі інформаційних систем та зниження якості обслуговування користувачів.

Уповільнення передачі даних через процеси шифрування та дешифрування є неприпустимим для критично важливих фінансових сервісів. Розв'язання цієї дилеми полягає у використанні сучасних міжмережевих екранів наступного покоління, які оснащені спеціалізованими апаратними прискорювачами. Такі рішення дозволяють здійснювати глибоку інспекцію SSL/TLS-трафіку на швидкостях, наближених до пропускну здатності каналу, виявляючи приховані загрози всередині шифрованих з'єднань без створення затримок у роботі сервісів. Не менш важливою складовою комплексної системи захисту є забезпечення цілісності даних, тобто гарантія того, що інформація не була змінена, знищена або спотворена під час зберігання чи передачі.

Застосування механізмів контролю цілісності, резервного копіювання та аудиту доступу сприяє зниженню ризиків втрати критичних фінансових даних.

Для фінансових установ, де точність даних є критичною, навіть незначні несанкціоновані зміни можуть мати катастрофічні наслідки для звітності та балансу. Розділення мережі на логічні зони безпеки унеможливорює горизонтальне переміщення зловмисника у випадку компрометації одного з вузлів. Такий підхід забезпечує локалізацію інцидентів та зменшує масштаб потенційних збитків.

Наприклад, сервери, що відповідають за агрегацію та аналіз Big Data, повинні бути винесені в окремий захищений сегмент з суворо обмеженими правилами міжмережевої взаємодії, що блокує доступ до них із робочих станцій звичайних користувачів або публічних мереж. Окрім архітектурних рішень та криптографічного захисту, критично важливим етапом забезпечення безпеки великих даних є безперервний моніторинг мережевої активності та виявлення аномалій у реальному часі. Інтеграція систем управління подіями інформаційної безпеки та платформ аналітики поведінки користувачів дозволяє підвищити ефективність виявлення складних кіберзагроз.

Оскільки обсяги трафіку у фінансових мережах є надзвичайно великими, традиційні сигнатурні методи виявлення вторгнень часто виявляються неефективними проти нових, раніше невідомих типів атак. Використання поведінкової аналітики та алгоритмів штучного інтелекту відкриває можливості для проактивного виявлення загроз.

Підсумовуючи викладене, можна стверджувати, що забезпечення цілісності та конфіденційності Big Data у фінансовому секторі вимагає комплексної модернізації мережевої інфраструктури. Цифрова трансформація фінансових установ потребує системного поєднання технологічних інновацій та ефективних стратегій кіберзахисту.

Простою збільшення пропускну здатності каналів вже недостатньо для протидії сучасним кіберзагрозам. Стратегічним вектором розвитку системи безпеки має стати відмова від плоских мережових топологій на користь глибокої сегментації, впровадження архітектури нульової довіри [4] та використання інтелектуальних засобів аналізу трафіку.

Zero Trust Security



Рисунок 2 – Принцип реалізації архітектури нульової довіри у інформаційній системі [5]

Застосування високопродуктивних NGFW з апаратним прискоренням шифрування дозволяє вирішити конфлікт між безпекою та продуктивністю, забезпечуючи захист даних без уповільнення критичних бізнес-процесів.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Гулак Г.М. Методологія захисту інформації. Аспекти кібербезпеки: підруч. Київ: Видавництво НА СБ України, 2020. 256 с. URL: http://www.immsp.kiev.ua/postgraduate/Biblioteka_trudy/Gulak_MetodolZahystuInfOsnKiberbezp_2020.pdf
2. Ullah F., Babar M.A. Architectural Tactics for Big Data Cybersecurity Analytic Systems: A Review. 2018. 48 p. URL: <https://www.semanticscholar.org/reader/a584d90af356bf18364e8da50ab7c661612967dc>
3. Zero Trust: багаторівнева модель безпеки для сучасного бізнесу. Smart IT. URL: <https://cloud.smart-it.com/news-post/zero-trust-bagatorivneva-model-bezpeky-dlya-suchasnogo-biznesu/> (дата звернення: 23.01.2026).
4. Rose S., Borchert O., Mitchell S., Connelly S. Zero Trust Architecture. NIST Special Publication 800-207. 2020. URL: <https://doi.org/10.6028/NIST.SP.800-207>
5. What is Zero Trust Network Architecture? Mad Devs. URL: <https://maddevs.io/blog/what-is-zero-trust-network-architecture/>

РЕАЛІЗАЦІЯ TESSERACT OCR У РОЗПІЗНАВАННІ ЦИФР В РЕАЛЬНИХ СЦЕНАРІЯХ

Сучасний етап розвитку житлово-комунальної інфраструктури вимагає переходу від ручного збору даних до повністю автоматизованих, прозорих та енергоефективних рішень. Створення портативної системи моніторингу на базі смарт-камер та мереж Wi-Fi є стратегічним кроком у цьому напрямку. Такий підхід дозволяє трансформувати застарілі методи обліку ресурсів у динамічну екосистему, яка забезпечує точність розрахунків та зручність як для постачальників послуг, так і для кінцевих споживачів.

В сучасних умовах господарювання використання цифрових та інформаційних технологій в управлінні підприємством виступає об'єктивною необхідністю як система інструментів контролю господарської діяльності, підвищення рентабельності, а головним призначенням - побудова інформаційного простору [2, с. 180].

Майбутнє подібних систем лежить у площині Machine Learning. Використання нейронних мереж типу YOLO або CNN для детекції об'єктів дозволить системі самостійно знаходити та ідентифікувати циферблати навіть у складних ракурсах. Крім того, перспективним є використання нейромережевого відновлення деталей (Super-Resolution) для покращення якості зображень з камер з низькою роздільною здатністю.

В сучасних містах до систем інженерних мереж відносять постачання електроенергії, газу, холодної та гарячої води, які складаються з основних, проміжних та термінальних вузлів та ліній зв'язку між ними якість комунальної послуги від існуючих методів відрізняється тим, що якість надання послуги оцінюється в числовому вигляді тільки у разі споживання послуги з можливістю врахування зміни параметра потоку в часі [1, с. 108].

У нашому дослідження була здійснена спроба реалізації програмної архітектури розробленого рішення «Utility Tracker», який базувалася на поєднанні сучасних вебтехнологій та інструментів обробки даних. Центральним елементом системи виступив рушій Tesseract OCR - відкрите програмне рішення, що на сьогодні вважається стандартом у сфері оптичного розпізнавання символів. Його еволюція під керівництвом Google призвела до впровадження архітектури на основі нейронних мереж довшої короткострокової пам'яті (LSTM), що суттєво підвищило здатність системи розпізнавати складні шрифти та рукописні елементи.

Процес перетворення графічної інформації з лічильників газу, води та електроенергії на текстові дані в системі «Utility Tracker» за допомогою трьох камер безпеки з автоматичним відстеженням Thiruwo Z2 (1440P HD WiFi, денним/нічним зором, сповіщеннями про рух - USB живлення, 355° горизонтальне та 90° вертикальне обертання, двосторонній аудіо, для внутрішнього домашнього спостереження).

Під час експериментальних досліджень було виявлено, що найвищу точність система демонструє при обробці зображень газових лічильників. Це пояснюється високим контрастом (наприклад, білі цифри на темному тлі) та використанням стандартизованих машинно-читабельних шрифтів, на яких попередньо тренувалися моделі Tesseract.

Однак реальні умови експлуатації вносять свої корективи. Основними перешкодами для стабільного розпізнавання є візуальні дефекти: відблиски на захисному склі лічильників, недостатнє освітлення та низька роздільна здатність камер. Цифри на лічильниках є дрібними елементами, тому навіть незначне розмиття або сторонній шум можуть призвести до критичних помилок у розрахунках.

Результати тестування підтверджують, що якісне розпізнавання -це синергія надійного апаратного забезпечення та просунутих алгоритмів комп'ютерного зору. Для комерційного впровадження системи та досягнення максимальної точності необхідно орієнтуватися на наступні вектори вдосконалення:

- фізична стабілізація, необхідна герметична фіксація камери з чітким фокусуванням на площині цифр для уникнення геометричних спотворень;
- контроль освітлення, використання розсіювачів або спеціалізованого підсвічування для мінімізації відблисків, що «zasліплюють» OCR-рушій;
- глибока попередня обробка, застосування бібліотеки OpenCV для автоматичного виділення області інтересу (ROI) та перетворення її у максимально чистий чорно-білий формат з чіткими контурами;
- спеціалізація моделей, обмеження словника Tesseract виключно цифрами та розділовими знаками, а також використання нейромереж, тренуваних на специфічних 7-сегментних дисплеях.

Створення такої сучасної портативної моніторингової системи комунальних послуг, що базується на смарт-камерах та Wi-Fi, є ключовим кроком до оптимізації та автоматизації квартирної інфраструктури. Цей інноваційний підхід дозволяє перетворити застарілі процеси на ефективну та прозору систему, що принесе значні переваги як комунальним службам, так і споживачам.

Підсумовуючи, можна стверджувати, що розроблена портативна система на базі Tesseract OCR та Python є життєздатною базою для побудови «Smart City» рішень. Хоча існують певні обмеження, спричинені якістю вхідних даних, інтеграція сучасних методів комп'ютерного зору дозволяє мінімізувати ці ризики та створити надійний інструмент для автоматизованого моніторингу комунальних витрат.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Багацький В. О., Красноруцька Н. М., Тишковська Л. Л., Багацький О. В. Система обліку та контролю комунальних послуг з точки зору споживача. *Вісн. Вінниц. політехн. ін-ту*. 2005. № 6. С. 73-78.
2. Бубенко П. Т., Покуца І. В., Ващенко В. А. Трансформація процесу управління комунальними підприємствами через розвиток державно-приватного партнерства. *Науковий вісник Херсонського державного університету*. 2021. Вип. 3. С. 20–23.

АЛГОРИТМІЧНІ СТРАТЕГІЇ АВТОМАТИЗОВАНОГО ТРЕЙДИНГУ ФІНАНСОВИХ ІНСТРУМЕНТІВ

Сучасні фінансові ринки характеризуються високим рівнем волатильності, швидкими змінами та значною кількістю інформаційних потоків. Учасники ринку стикаються з проблемою оперативного прийняття рішень в умовах невизначеності, що часто призводить до підвищених ризиків та втрат. Традиційні методи аналізу та ручного трейдингу не завжди дозволяють своєчасно реагувати на коливання цін та зміни ринкових тенденцій.

У цьому контексті актуальною стає проблема розробки та впровадження алгоритмічних систем, здатних автоматизувати процес прийняття рішень. Алгоритмічний трейдинг дозволяє зменшити вплив людського фактору, мінімізувати емоційні помилки та забезпечити системний підхід до аналізу великої кількості фінансових інструментів. Як зазначає Кац у своїй *Енциклопедії торгових стратегій*, саме системність і повторюваність алгоритмів є ключовою перевагою над інтуїтивними рішеннями трейдерів [1].

Особливу значущість має питання ефективності таких систем у реальних умовах ринку. Використання багатопараметричних індикаторів та різноманітних стратегій потребує не лише теоретичного обґрунтування, але й практичної апробації. Нісон у праці *Японські свічкові графіки* підкреслює важливість візуалізації даних для прийняття рішень, що підтверджує актуальність використання графічних інтерфейсів та індикаторів у сучасних алгоритмічних системах [2].

Аналіз останніх досліджень публікацій свідчать про активний розвиток алгоритмічного трейдингу. Удачина та співавтори підкреслюють, що інтелектуальні рішення дозволяють розширити можливості учасників ринку капіталу, але водночас створюють нові виклики, пов'язані з параметризацією та інформаційним обміном. Слободяник і Крижній систематизують сутність алгоритмічного трейдингу та пропонують класифікацію стратегій, наголошуючи на їхньому поширенні у світовій практиці та обмеженому розвитку в Україні [3].

Міжнародні дослідження також підтверджують значущість теми. Зокрема, Yang та ін. доводять, що застосування алгоритмів може знижувати рівень волатильності на ринках, що розвиваються [4]. Broussard та колеги аналізують ринкову екосистему в умовах алгоритмізації, класифікуючи учасників ринку на алгоритмічних, інституційних та роздрібних трейдерів [5].

Метою даної роботи є дослідження ефективності алгоритмічних стратегій автоматизованого трейдингу фінансових інструментів та апробація програмного забезпечення, здатного здійснювати моніторинг ринку, аналіз індикаторів і виконання угод у режимі реального часу.

Досягнення цієї мети передбачає:

- розробку та реалізацію програмного застосунку, який інтегрує понад 30 індикаторів та забезпечує багатопараметричний аналіз;
- формування та тестування семи різних стратегій алгоритмічного трейдингу, що відрізняються за принципами роботи та результативністю;
- перевірку адаптивності системи до різних фінансових інструментів та ринкових умов;
- створення інтерфейсу, який забезпечує візуалізацію процесів та наочне представлення результатів роботи алгоритмів.

Для підтвердження досягнення поставленої мети було створено програмний застосунок, інтерфейс якого наведено на **рисунку 1**. Він демонструє ключові функції системи моніторингу ринку, відображення індикаторів та виконання угод у режимі реального часу. Таким чином, рисунок є відповіддю на проблему практичної реалізації алгоритмічних стратегій та підтверджує досягнення мети дослідження.



Рисунок 1 – Приклад роботи аналізатора на річному проміжку на всіх доступних інструментах

Для реалізації поставленої мети необхідно було здійснити огляд сучасних наукових джерел, що стосуються алгоритмічного трейдингу, та визначити основні підходи й проблеми, які залишаються невирішеними. Це дозволило сформувавши теоретичну основу для подальшої роботи та окреслити напрями практичної апробації.

Наступним кроком стала розробка програмного забезпечення, яке інтегрує понад тридцять індикаторів і забезпечує багатопараметричний аналіз. Інтерфейс програми, наведений на рисунку 1, демонструє ключові функції системи та підтверджує можливість її практичного застосування.

У процесі дослідження було сформовано та протестовано сім окремих стратегій алгоритмічного трейдингу, що відрізняються за принципами роботи та результативністю. Приклади графіків індикаторів, які використовуються для формування торгових сигналів, наведено на рисунку 2. Вони ілюструють взаємодію між параметрами та підтверджують наукову основу системи.

Завершальним етапом стала апробація системи на різних фінансових інструментах, що дозволило перевірити її адаптивність до мінливих ринкових умов. Рисунок 1 демонструє роботу програми на окремих інструментах, підтверджуючи практичну ефективність алгоритмів у реальному часі.



Рисунок 2 – Робота програми на реальних даних FLOWUSDT 01.2023

У ході дослідження було підтверджено актуальність застосування алгоритмічного трейдингу як інструменту зменшення впливу людського фактору та підвищення ефективності прийняття рішень на фінансових ринках. Проведений аналіз літератури показав, що сучасні наукові підходи зосереджуються на класифікації стратегій та використанні інтелектуальних методів, проте практична апробація систем залишається обмеженою. Розроблений програмний застосунок, який інтегрує понад тридцять індикаторів та реалізує сім різних стратегій, довів можливість багатопараметричного аналізу та адаптації до різних ринкових умов. Інтерфейс програми (рисунок 1), графіки індикаторів (рисунок 2) підтверджують досягнення поставленої мети та виконання завдань дослідження. Таким чином, результати роботи мають як теоретичну, так і практичну цінність. Вони можуть бути використані для подальшого розвитку алгоритмічних стратегій, створення нових програмних рішень та підвищення конкурентоспроможності учасників фінансових ринків.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Broussard J. P., Nikiforov A., Osmekhin S. The market ecosystem in the age of algorithms: An analysis of trading dynamics and market quality. *Journal of Economics and Finance*. 2025. URL: <https://doi.org/10.1007/s12197-024-09702-w> (date of access: 03.04.2026).
2. Japanese candlestick charting techniques: A contemporary guide to the ancient investment techniques of the Far East. New York : New York Institute of Finance, 1991. 315 p.
3. Слободяник А. М., Крижній В. Б. Алгоритмічний трейдинг на біржовому ринку: сутність та класифікація. 97 с.
4. McCormick D., Katz J. O. *Encyclopedia of Trading Strategies*. McGraw-Hill Professional Publishing, 2000.
5. Research on the impact of algorithmic trading on market volatility / D. Yang et al. *Scientific Reports*. 2025. Vol. 15, no. 1. URL: <https://doi.org/10.1038/s41598-025-15020-w> (date of access: 03.04.2026).

СЕКЦІЯ
«ІНФОРМАЦІЙНО-АНАЛІТИЧНІ
ТА ІНФОРМАЦІЙНО-КЕРУЮЧІ
СИСТЕМИ»

МОДЕЛЮВАННЯ ТА ОПТИМІЗАЦІЯ ЛОГІСТИЧНИХ ПРОЦЕСІВ ВИРОБНИЧОЇ ЛІНІЇ З ВИКОРИСТАННЯМ ІМІТАЦІЙНОГО МОДЕЛЮВАННЯ

У сучасних виробничих системах важливу роль відіграє ефективна організація логістичних процесів, зокрема транспортування деталей між технологічними операціями. Неefективна логістика може призводити до затримок, простоїв обладнання та зниження загальної продуктивності виробництва.

Актуальність дослідження полягає у необхідності підвищення ефективності переміщення матеріальних потоків у межах виробничих систем. Використання імітаційного моделювання дозволяє аналізувати логістичні процеси без втручання у реальне виробництво та знаходити оптимальні рішення.

Метою роботи є моделювання логістичних процесів виробничої лінії та аналіз їх впливу на загальну ефективність системи.

У якості середовища моделювання використано Siemens Tecnomatix Plant Simulation, яке дозволяє створювати цифрові моделі виробничих процесів та аналізувати їх роботу в динаміці (рис. 1).

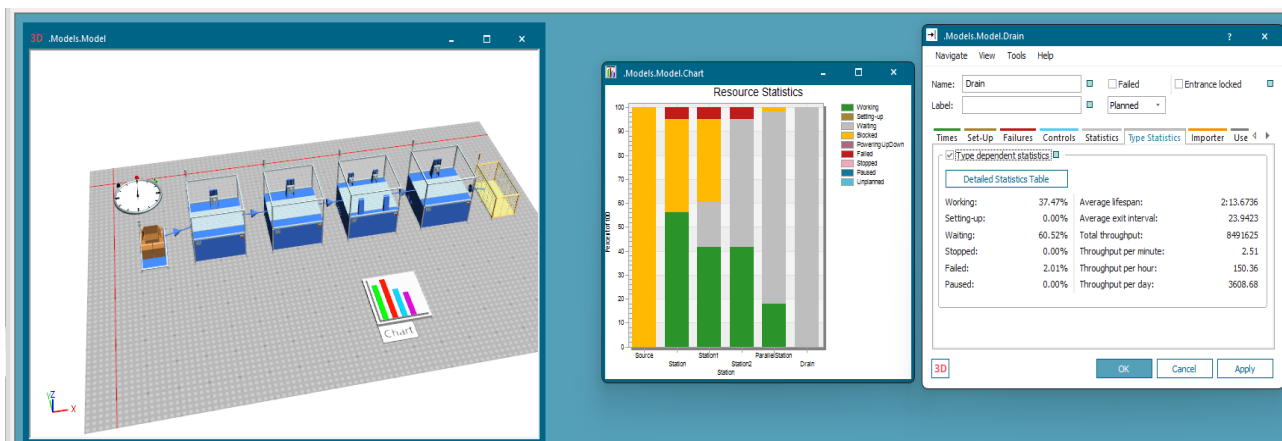


Рисунок 1 – Модель логістичних процесів виробничої лінії

У розробленій моделі відображено рух деталей між обробними станціями за допомогою транспортних елементів. Було змодельовано різні варіанти організації логістики, включаючи зміну швидкості транспортування, довжини черг та розташування буферів.

У процесі виконання роботи я використовував дане програмне середовище для дослідження впливу логістичних параметрів на роботу системи. Я змінював параметри транспортування, аналізував час очікування деталей у чергах та визначав, як це впливає на завантаження обладнання. Це дозволило отримати практичні навички роботи з імітаційними моделями та краще зрозуміти взаємозв'язок між елементами системи.

За результатами моделювання встановлено, що оптимізація логістичних процесів дозволяє значно зменшити простої обладнання та підвищити продуктивність виробничої лінії. Зокрема, правильне розміщення буферів і налаштування параметрів транспортування сприяє більш рівномірному завантаженню станцій.

У роботі показано, що застосування імітаційного моделювання є ефективним інструментом для дослідження та оптимізації логістичних процесів. Отримані результати можуть бути використані для підвищення ефективності реальних виробничих систем.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Томашевський В. М. Моделювання систем. Київ : Видавнича група ВНУ, 2005. 352 с.
2. Тимченко А. А. Основи системного проектування та системного аналізу об'єктів. Основи системного підходу та системного аналізу об'єктів нової техніки: навч. посіб. Київ : Либідь, 2004. 288 с.
3. Стеценко І. В. Імітаційне моделювання системи управління навчальним процесом ВНЗ з використанням об'єктно-орієнтованого підходу. *Математичні машини і системи*. Київ, 2011. № 2. С. 162-170.
4. Стеценко І. В. Технологія Петрі-об'єктного моделювання систем. *Вісник Черкаського державного технологічного університету*. Черкаси : ЧДТУ, 2011. № 4. С. 20-33
5. Стеценко І. В., Данилюк А. А. Імітаційне моделювання систем управління засобами сіток Петрі. *Вісник Черкаського державного технологічного університету*. Черкаси, 2005. № 3. С. 290-297.

ДО ПИТАННЯ ВПРОВАДЖЕННЯ ГЕОІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ У ВІДНОВЛЮВАНІЙ ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИЦІ

Сучасні географічні інформаційні системи – це засіб управління, комунікації, аналізу, інтеграції даних та підтримки рішень. Геоінформаційні системи електроенергетики – інформаційний ресурс, що об'єднує різноманітні картографічні матеріали, космічні знімки, векторні шари, бази даних, має широкі функціональні можливості (збір, зберігання, об'єднання, обробка, складні обчислення, візуалізація та аналіз географічно кодованої інформації), що є частиною глобальної мережевої інфраструктури, де дані постійно оновлюються і поширюються через інтернет [1].

Основу такої взаємодії становлять веб-сервіси OGC (Open Geospatial Consortium) - стандартизовані протоколи обміну геопросторовою інформацією між клієнтами (наприклад, PVGIS) та віддаленими серверами. За допомогою веб-сервісів користувачі можуть підключатися до офіційних національних чи міжнародних геопорталів, отримуючи найактуальніші карти, супутникові знімки, кадастрові дані чи тематичні шари без необхідності локального зберігання великих обсягів інформації. В електроенергетичних та інфраструктурних проєктах з відновлюваної електроенергетики використання WMS (Web Map Service) і WFS (Web Feature Service) особливо актуальне – вони дозволяють інтегрувати зовнішні джерела (карти рельєфу, межі населених пунктів, дорожню мережу, екологічні зони тощо) із внутрішніми галузевими даними. Це створює єдиний інформаційний простір для аналізу, планування та моніторингу стану об'єктів відновлюваної електроенергетики [1, 2].

В Херсонському національному технічному університеті на кафедрі енергетики, електротехніки і фізики здійснюється підготовка здобувачів другого (магістерського) рівня освіти за спеціальністю G3. Електрична інженерія (141. Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка) за освітньою програмою «Нетрадиційні та відновлювані джерела енергії» [3]. Зокрема, успішно впроваджуються сучасні геоінформаційні системи як в освітньому процесі при підготовці здобувачів освіти, так і при написанні кваліфікаційних робіт магістра.

Наприклад, при розробці проєкту з відновлюваної енергетики проведено вибір площадки для будівництва фотоелектричної станції, що ґрунтувався на інформації щодо наявності вільних площадок (земельних ділянок) на території Кочубеївської сільської об'єднаної територіальної громади (Бериславського району Херсонської області).

Зокрема, отримані за результатами запитів площадки (земельні ділянки), проходили вивчення та детальний попередній аналіз з використанням інформації, отриманої з відкритих доступних в Інтернеті джерел щодо загальної та енергетичної інфраструктури.

Розгляд та оцінка варіантів земельних ділянок проведено з метою конкретизації розміщення площадок для будівництва фотоелектричної станції з точки зору величини додаткових витрат, пов'язаних з екологічними та іншими факторами:

- оцінка наявних електричних мереж 35 кВ (рис. 1) та 10 кВ (рис. 2);
- попередня оцінка рельєфу, інженерно-геологічних і гідрогеологічних характеристик місцевості (рис. 3);
- оцінка можливості та умови відводу ділянок (рис. 4);
- перевірка потенційної площадки на невходження її до земель заповідників, національних парків та інших природоохоронних земель, визначених законодавством України.

При роботі з картами-схемами використано метод пошарового накладання інформації та відображення різної за характером та призначенням інформації, що дає наочне комплексне всебічне представлення щодо наявності площадок та можливості їх використання для розміщення фотоелектричної станції з урахуванням зазначених аспектів.



Рисунок 4 – Мапа Держгеокадастру наявних ділянок досліджуваної місцевості [5]

В результаті обробки та аналізу інформації проводиться обґрунтування вибору площадок, які не мають категоричних застережень щодо можливості їх використання для розміщення фотоелектричної станції чи іншого об'єкту відновлюваної електроенергетики.

Картографічні інструменти дозволяють визначити відстані до існуючих електромереж тощо. Зокрема, доступна інформація щодо площі ділянки, її кадастрового номеру, типу власності, цільового призначення (наприклад, 14.01 Для розміщення, будівництва, експлуатації та обслуговування будівель і споруд об'єктів енергогенеруючих підприємств, установ і організацій).

Отже, впровадження геоінформаційних систем у відновлюваній електроенергетиці слід розглядати як сучасний базис планування, проектування, будівництва, експлуатації систем електропостачання та електричних мереж.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Геоінформаційні системи в електроенергетиці: практикум: навч. посібник / І.В. Притискач, В.В. Ткаченко, О.С. Ярмолюк. – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2026. – 125 с.
2. PVGIS online worldwide solar simulator photovoltaic software. URL: <https://photovoltaic-software.com/pv-softwares-calculators/online-free-photovoltaic-software/pvgis> (дата звернення: 01.04.2026).
3. G3 Електрична інженерія (Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка) / Херсонський національний технічний університет // URL: <https://kntu.net.ua/Perelik-special-nostej/G3-141-Elektrichna-inzheneriya-Elektroenergetika-elektrotehnika-ta-elektromehanika> (дата звернення: 01.04.2026).
4. Мережі Херсонобленерго. URL: <http://ksoe.com.ua:10080/ksoe/#14/47.4974/33.2187> (дата звернення: 01.04.2026).
5. Публічна кадастрова карта. URL: <https://kadastrova-karta.com/> (дата звернення: 01.04.2026).

**ALGORITHMIC SUPPORT FOR AN INTELLIGENT TECHNOLOGY
OF PERSONALIZED INVESTMENT PORTFOLIO OPTIMIZATION**

This paper presents a formalized approach to building an intelligent information technology for personalized investment portfolio optimization, where personalization is implemented not via discrete “template” portfolios but through an explicit functional linkage between the investor’s risk profile and the parameters of the underlying optimization problem. The proposed technology is specified as a tuple of components and includes two key algorithmic modules: (i) construction of a candidate asset universe $A \rightarrow A^*$ based on correlation structure, and (ii) parameterization of the constraint system $C(R)$ as a function of a continuous risk profile. Minimal experimental evidence is provided to demonstrate redundancy reduction in the asset set and controlled (smooth) variation of optimization constraints.

The key contribution is the explicit coupling between a continuous risk profile and the feasible set of the optimization problem, which turns personalization into a reproducible, model-driven procedure rather than a heuristic selection of portfolio templates. This design also supports consistent scenario analysis by tracing how small changes in $R(u)$ translate into smooth changes of admissible allocations.

Practical portfolio recommendation systems often operate over heterogeneous asset classes and encounter two recurring issues: (1) redundancy induced by highly correlated instruments, which undermines numerical stability and increases sensitivity of the optimal solution; and (2) limited personalization, where investor risk attitudes are reduced to a small set of discrete categories. Classical foundations of portfolio optimization provide a baseline for such systems; however, an applied information technology must additionally ensure reproducibility, controllability under constraints, and interpretability of recommendations [1, 2]. Robust portfolio optimization and regularization techniques are commonly used to mitigate estimation error and improve solution stability under correlated asset universes [3].

The aim is to develop and formally describe an intelligent information technology for personalized portfolio optimization based on adaptive risk profiling, with an emphasis on the algorithmic layer. The technology is represented as $IT = \langle D, M, Algo, C, V \rangle$, where D denotes data and time-series preprocessing, M is the risk-profile model, $Algo$ comprises portfolio formation algorithms, C is the constraint system, and V covers visualization and validation. The continuous risk profile $R(u) \in [0, 1]$ may be obtained from an adaptive survey and/or learned mapping models (e.g., Random Forest) that transform questionnaire/behavioral features into a scalar risk score [4, 5]. The portfolio is obtained by solving a constrained optimization problem over expected returns and risk, where $C(R)$ controls class exposure and concentration in a continuous manner. This separates preference elicitation (risk profiling) from optimization mechanics, improving transparency of how investor preferences affect the final allocation.

Algorithm 1 forms a candidate asset set A^* by constructing a similarity graph using a correlation threshold $|\text{corr}| \geq \tau$, identifying connected components, and selecting a representative (“central”) asset within each component. This reduces the search space dimensionality and redundancy, which is critical for optimization stability. Algorithm 2 defines the constraint system $C(R)$ as smooth functions of the risk profile $R(u)$, including bounds on asset-class weights, the share of an “anchor” class, and concentration limits. Such a parameterization makes personalization reproducible: continuous changes in $R(u)$ induce controlled changes in the feasible set.

A preliminary analysis of monthly return correlations confirmed substantial redundancy within equity instruments (mean absolute correlation 0.784) and the presence of near-duplicate pairs with correlations close to 1. To demonstrate Algorithm 1, with $\tau = 0.9$ the equity set was reduced from $|A| = 17$ to $|A^*| = 6$; the mean absolute correlation within A^* decreased to 0.654 and the maximum to

0.828. For Algorithm 2, examples of parameterized bounds $C(R)$ are provided for $R = 0.2, 0.5,$ and $0.8,$ and the smoothness of constraint variation under $\varepsilon = 0.05$ is evaluated via the metric $\Delta C,$ yielding $\Delta C = 0.1175.$ This is consistent with the proposed smooth parameterization and supports the controllability of personalization.

A formal technology model and two algorithmic modules are proposed, combining correlation-based reduction of redundant asset sets with constraint parameterization as a function of the investor's risk profile. Future work should focus on calibrating $C(R)$ from historical data and conducting full-scale ablation experiments ("without Algorithm 1 / without Algorithm 2") to assess the stability of portfolio weights and the interpretability of recommendations. Unlike conventional portfolio recommendation systems that rely on discrete risk buckets, the proposed approach provides continuous parameterization of optimization constraints through the investor risk profile, improving both stability and interpretability of the resulting solutions.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Bodie Z., Kane A., Marcus A. J. Investments. McGraw-Hill Education (latest edition).
2. Markowitz H. Portfolio Selection. *The Journal of Finance*. 1952. Vol. 7(1). pp. 77–91.
3. Fabozzi F. J., Kolm P. N., Pachamanova D. A., Focardi S. M. Robust Portfolio Optimization and Management. Wiley. 2007.
4. Breiman L. Random Forests. *Machine Learning*. 2001. Vol. 45. pp. 5–32.
5. Kozub N. O., Korniienko S. O., Dorenskyi O. P. Method and Technological Solution of an AI-Based Adaptive Investor Survey Service for Determining an Individual Risk Profile. *Central Ukrainian Scientific Bulletin. Technical Sciences*. 2025. Issue 11(42), Part II. DOI: 10.32515/2664-262X.2025.11(42).2.3-10.

ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ АВТОМАТИЗАЦІЇ В2В-ПРОЦЕСІВ ТА ЗАХИСТУ ДАНИХ ПІДПРИЄМСТВА В УМОВАХ ЄВРОІНТЕГРАЦІЇ

Робота виконана за Модулем 2 «Цифрові технології в управлінні бізнесом: європейські практики» проєкту «Європейські стратегії цифрової інтеграції: адаптація для розвитку мережевої економіки в Україні» (01239480 – ESDI-NEU – ERASMUS-JMO-2025-HEI-TCH-RSCH), що реалізується кафедрою менеджменту, маркетингу та інформаційних технологій Херсонського державного аграрно-економічного університету за підтримки Європейського Союзу. Проєкт фінансується Європейським Союзом. Однак висловлені погляди та думки належать лише авторам і не обов'язково відображають погляди Європейського Союзу або Європейського виконавчого агентства з питань освіти та культури (EACEA). Ні Європейський Союз, ні орган, що надає грант, не можуть нести за них відповідальність.

В умовах цифровізації та інтеграції українського бізнесу до європейського економічного простору, класичні методи управління інформаційними потоками стають неефективними [4]. Сучасні європейські стандарти вимагають від компаній побудови надійних ІТ-інфраструктур, що забезпечують безперебійну автоматизацію процесів, глибоку інтеграцію хмарних обчислень (Cloud Computing) [5], технологій штучного інтелекту та суворе дотримання протоколів кібербезпеки. Метою дослідження є проєктування та практична реалізація хмарної архітектури для автоматизації процесів В2В-взаємодії підприємства з використанням no-code платформ, API-інтеграцій та алгоритмів шифрування даних.

Для вирішення поставленого завдання було розроблено багаторівневу інформаційну систему, що об'єднує процеси збору даних, їх криптографічного захисту, інтелектуальної обробки та візуалізації. Архітектуру системи побудовано за принципом Event-Driven Architecture (подійно-орієнтована архітектура) з використанням інструментарію хмарної автоматизації [6].

Етап 1. Проєктування інтеграційного пайплайну (Pipeline). Базовим середовищем для оркестрації даних обрано платформу n8n. Ініціалізація робочого процесу відбувається через модуль Webhook (Google Sheets Trigger), який перехоплює вхідні потоки даних у форматі JSON від вебформ. Це дозволяє реалізувати концепцію Paperless та повністю автоматизувати маршрутизацію лідів без написання складного програмного коду.

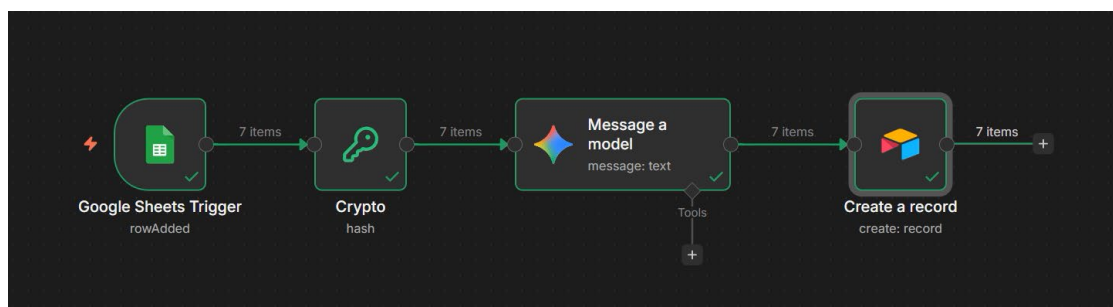


Рисунок 1 – Загальна архітектура спроектованого робочого процесу (Workflow) у системі оркестрації n8n з відображенням вузлів передачі даних

Етап 2. Імплементация методів криптографічного захисту даних (GDPR Compliance). Відповідно до вимог Загального регламенту про захист даних (GDPR) Європейського Союзу, зберігання персональної ідентифікаційної інформації (PII) у відкритому вигляді є неприпустимим та тягне за собою юридичні наслідки [1]. Тому в архітектуру системи було інтегровано криптографічний модуль (вузол Crypto).

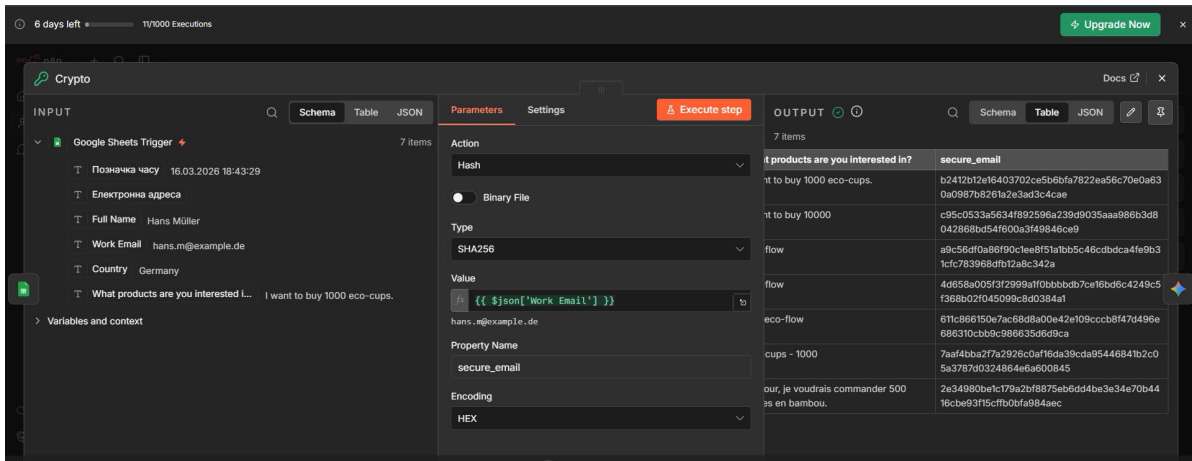


Рисунок 2 – Налаштування модуля Cryptio: перехоплення JSON-об'єкта з email-адресою та генерація криптографічного хешу

Модуль автоматично виконує псевдонімізацію вхідних email-адрес європейських клієнтів, застосовуючи алгоритм хешування MD5 (або SHA-256). На виході формується безпечний 32-символьний шістнадцятковий рядок (хеш-код), який неможливо дешифрувати у зворотному напрямку. Цей технологічний підхід гарантує кібербезпеку: до бази даних CRM потрапляє виключно захищений хеш, що унеможливорює витік персональних даних навіть у разі компрометації хмарного сервера.

Етап 3. API-інтеграція великих мовних моделей (LLM). Для вирішення задачі мультимовної комунікації в реальному часі до пайплайну через API підключено неймережу архітектури Transformer (Google Gemini). Сучасні великі мовні моделі здатні ефективно вирішувати задачі обробки природної мови (NLP) у бізнес-додатках [3]. За допомогою методів prompt-інжинірингу систему налаштовано на динамічний парсинг вхідного тексту, його семантичний аналіз та автоматичну генерацію B2B-пропозицій мовою цільового ринку. Таким чином, ШІ виступає як інтелектуальний шлюз для обробки неструктурованих текстових даних.

Етап 4. Налаштування хмарної реляційної бази даних (CRM). Кінцевою точкою передачі оброблених даних (Endpoint) є хмарна база даних Airtable. Аутентифікація p8n у системі Airtable здійснюється за допомогою безпечних токенів доступу (Personal Access Tokens) з налаштованими дозволами data.records:write та schema.bases:read.

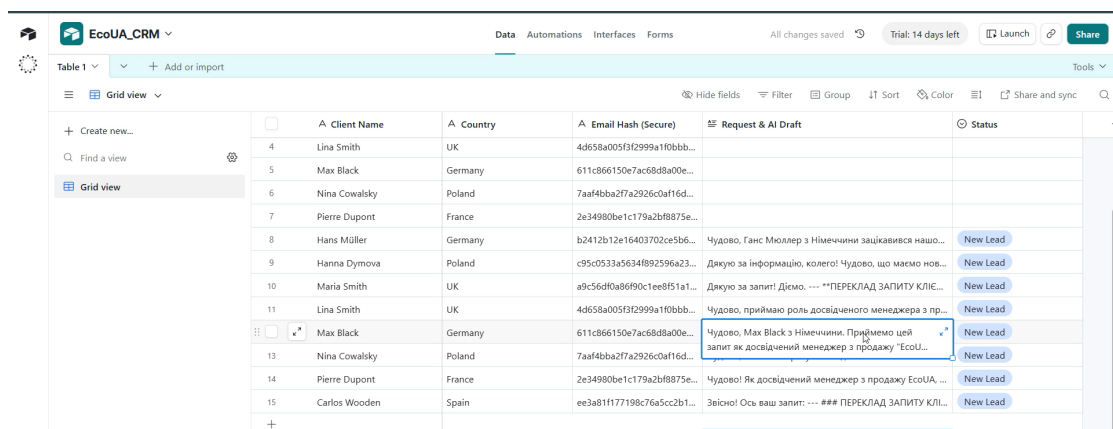


Рисунок 3 – Інтерфейс хмарної бази даних Airtable: відображення синхронізованих зашифрованих записів (Grid view) та згенерованих ШІ відповідей

Дані, що надходять через API, автоматично розподіляються по стовпцях бази (у режимі Grid view), після чого можуть бути візуалізовані у вигляді Kanban-дошки для зручного управління статусами лідів. Для аналітичного супроводу інфраструктури налаштовано експорт знеособлених даних (Big Data) до сервісу візуалізації Google Looker Studio, де генеруються динамічні інтерактивні дашборди.

Етап 5. Стратегія масштабування IT-інфраструктури. На фінальному етапі розроблена IT-архітектура була проаналізована на предмет відповідності технічним вимогам інноваційних екосистем ЄС. Алгоритми ШІ згенерували проектну пропозицію (Executive Summary) для офіційної програми «Digital Europe Programme» [2], обґрунтовуючи потребу у фінансуванні для розширення потужностей серверної інфраструктури та придбання Enterprise-ліцензій для API-запитів.



Рисунок 4 – Інфографічна модель IT-архітектури (Twin Transition) для залучення фінансування за програмою Digital Europe

Висновки. Впровадження хмарних інструментів автоматизації (no-code), криптографічного хешування даних та API-інтеграцій штучного інтелекту дозволяє вітчизняним підприємствам створювати стійкі та масштабовані ІТ-екосистеми. Запропонована архітектура вирішує проблему мовних бар'єрів, повністю автоматизує рух інформаційних потоків і забезпечує апаратний та програмний комплаєнс із європейськими стандартами кібербезпеки (GDPR), що є фундаментальною умовою для успішної цифрової інтеграції в ринок ЄС.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Регламент (ЄС) 2016/679 Європейського Парламенту і Ради від 27 квітня 2016 року про захист фізичних осіб у зв'язку з опрацюванням персональних даних і про вільний рух таких даних (GDPR). *Офіційний вісник Європейського Союзу*. 2016. URL: <https://www.google.com/search?q=https://eur-lex.europa.eu/legal-content/UK/TXT/%3Furi%3DCELEX:32016R0679> (дата звернення: 10.04.2026).
2. Digital Europe Programme. *European Commission: official website*. URL: <https://digital-strategy.ec.europa.eu/en/activities/digital-programme> (date of access: 10.04.2026).
3. Zhao W. X. et al. A survey of large language models. *arXiv preprint*. 2023. URL: <https://arxiv.org/abs/2303.18223>.
4. Краус Н. М., Голобородько О. П., Краус К. М. Цифрова економіка: тренди та перспективи авангардного характеру розвитку. *Ефективна економіка*. 2018. № 1. URL: <http://www.economy.nayka.com.ua/?op=1&z=6047>.
5. Mell P., Grance T. The NIST definition of cloud computing. *National Institute of Standards and Technology*. 2011. Special Publication 800-145. 7 p.
6. Європейські стратегії цифрової інтеграції: адаптація для розвитку мережевої економіки в Україні (ESDI-NEU) : офіційний вебсайт проєкту. Херсонський державний аграрно-економічний університет. URL: <https://sites.google.com/ksaeu.kherson.ua/esdi-neu/головна> (дата звернення: 07.04.2026).

АРХІТЕКТУРА ТА АЛГОРИТМІЧНІ КОМПОНЕНТИ СИСТЕМИ СЦЕНАРНО-ПРЕЦЕДЕНТНОГО АНАЛІЗУ РЕГІОНАЛЬНИХ ТРАНСФОРМАЦІЙ

У сучасних умовах інформаційні технології активно впроваджуються у сферу регіонального управління. Зокрема, концепції четвертої промислової революції «Індустрія 4.0» та цифрової економіки формують підґрунтя для інтеграції цифрових інструментів у процеси управління регіональними трансформаціями. Сутність цих концепцій полягає у прискореній інтеграції соціо-кіберфізичних систем у комплексні регіональні процеси, автоматизації збору та обробки даних для підвищення ефективності прийняття рішень, розвитку економіки та соціальної стабільності на рівні регіонів [1, 2]. Регулярне збирання та аналіз даних про соціальні, економічні та політичні процеси дає змогу формувати сценарії розвитку територій і прогнозувати можливі трансформації. Водночас регіональні системи характеризуються територіальною розподіленістю інформаційних ресурсів, різномірністю даних і високим рівнем невизначеності, що зумовлює потребу у спеціалізованих підходах до їх комплексного аналізу [2, 3].

У контексті регіональних трансформацій головним завданням стає розробка архітектури та алгоритмічних компонентів системи, яка дозволяє об'єднати дані з різних джерел, інтегрувати їх у єдине інформаційне середовище та забезпечити якісне і своєчасне обґрунтування управлінських рішень. Запропонований підхід дає змогу підвищити точність прогнозування регіональних змін і зменшити ризики неузгоджених рішень [4].

Основним результатом функціонування системи є формування інтегрованого електронного звіту — «електронного досьє регіональної трансформації», що містить узагальнену аналітичну інформацію, результати оцінювання ризиків та сценарії подальшого розвитку територій.

Архітектура системи сценарно-прецедентного аналізу має багаторівневу структуру та включає такі основні компоненти [7]:

- 1) рівень джерел даних (Data Sources Layer) – забезпечує отримання інформації з різних джерел - статистичні бази даних, інформаційні системи органів влади, геоінформаційні системи, документи та звіти про регіональні проекти;
- 2) рівень інтеграції даних (Data Integration Layer) – виконує нормалізацію даних, очищення інформації, інтеграцію різнорідних інформаційних потоків;
- 3) рівень управління знаннями (Knowledge Management Layer) – формує базу знань, що містить історичні прецеденти регіональних трансформацій, моделі розвитку регіональних систем, правила прийняття управлінських рішень;
- 4) рівень сценарно-прецедентного аналізу (Scenario–Case Analysis Layer) – реалізує алгоритми прогнозування та моделювання сценаріїв розвитку;
- 5) рівень підтримки прийняття рішень (Decision Support Layer) – формує рекомендації для органів управління на основі результатів аналізу.

Функціонування системи забезпечується набором взаємопов'язаних алгоритмічних модулів [8]. Узагальнену структуру алгоритмічних компонентів системи наведено на рисунку 1.

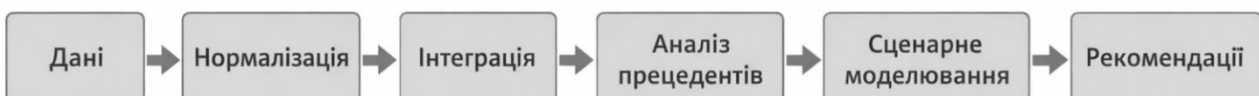


Рисунок 1 – Узагальнена структура алгоритмічних компонентів системи сценарно-прецедентного аналізу

Алгоритм інтеграції та нормалізації даних призначений для обробки великих обсягів різномірних даних. Основними етапами є збір даних із різних джерел, очищення даних від помилок та дублювання, нормалізація показників, інтеграція даних у єдине сховище. Формально процес інтеграції можна представити як: $D_{int}=f(D_1,D_2,\dots,D_n)$, де D_i – дані з різних джерел.

Алгоритм прецедентного аналізу (Case-Based Reasoning) використовує базу історичних прецедентів регіональних трансформацій [5]. Основні кроки: формування опису поточної ситуації, пошук подібних прецедентів у базі знань, оцінка подібності ситуацій, адаптація рішень, що використовувалися у попередніх випадках [6].

Алгоритм прогнозування розвитку регіону. Для прогнозування використовуються методи: аналізу часових рядів, регресійного аналізу, машинного навчання. Формальна модель прогнозування: $R(t+1)=f(R(t),E,S)$, де R – стан регіональної системи, E – економічні фактори, S – соціальні фактори.

Алгоритм генерації сценаріїв формує альтернативні сценарії розвитку регіональної системи: оптимістичний, базовий, кризовий. Сценарій визначається як: $S_i=f(D_{int},C,P)$, де D_{int} – інтегровані дані, C – прецеденти P – прогнози моделі.

Алгоритм оцінювання ризиків – визначає можливі негативні наслідки реалізації сценаріїв. Використовуються статистичні методи, імовірнісні моделі, експертні оцінки

Запропонована архітектура системи сценарно-прецедентного аналізу дозволяє інтегрувати різномірні джерела інформації та здійснювати комплексний аналіз регіональних трансформацій [9]. Використання алгоритмів інтеграції даних, прецедентного аналізу, прогнозування та генерації сценаріїв забезпечує можливість формування обґрунтованих управлінських рішень [10]. Реалізація подібних систем сприятиме підвищенню ефективності управління регіональним розвитком, зменшенню рівня невизначеності та впровадженню превентивних стратегій управління трансформаційними процесами.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Саприків В. Оцифровування, цифровізація та цифрова трансформація публічного управління в Україні. Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Серія: Державне управління. 2024. № 19(1). С. 116–121. DOI: 10.17721/2616-9193.2024/19-19/22.
2. Kovalenko M. M., Sobol R. G., Vanina Ya. A., Berlizova V. A., Sobol M. R. Digitalization of Regional Economy as a Public Administration Approach in Stimulating Socio-Economic Development Regional of Ukraine. Theory and Practice of Public Administration. 2024. No. 1(78). P. 70–99. DOI: 10.26565/1727-6667-2024-1-05.
3. Gritsenko D., Wood M. Algorithmic governance: A modes of governance approach. Regulation & Governance. 2022. Vol. 16, No. 1. P. 45–62. DOI: 10.1111/regg.12367.
4. Hassani H., Silva E. S. Forecasting with Big Data: A Review. Annals of Data Science. 2015. Vol. 2. P. 5–19. DOI: 10.1007/s40745-015-0029-9.
5. Yan A., Cheng Z. A Review of the Development and Future Challenges of Case-Based Reasoning. Applied Sciences, 2024, 14(16), 7130. <https://doi.org/10.3390/app14167130>.
6. Deng S., Liu W., Peng Y., Liu B. A Spatial Case-Based Reasoning Method for Healthy City Assessment. ISPRS International Journal of Geo-Information, 2024, 13(8), 271. <https://doi.org/10.3390/ijgi13080271>.
7. Smirnov A.V., Ponomarev A.V., Shilov N.G., Levashova T.V., Teslya N.N. A Conception of Collaborative Decision Support Systems: Approach and Platform Architecture. Informatics and Automation, 2024, 23(4), 1139–1172.
8. Samara E., Kilintzis P., Katsoras E., Martinidis G., Kosti P. A Dynamic Analysis to Examine Regional Development in the Context of a Digitally Enabled Regional Innovation System. Systems, 2024, 12(6), 200. <https://doi.org/10.3390/systems12060200>.
9. Niemeyer J., Rudolf S., Kvaratskhelia L., Mennenga M., Herrmann C. Case-Based Reasoning – Methods, Techniques, and Applications. Procedia CIRP, 2022, 107, 470–475. (Методи та архітектури систем на основі CBR.)
10. Shen L., Bao H., Yang Y. et al. Dual Perspective Diagnosis on Low Carbon City Performance. Cities, 2023. (Методи оцінювання розвитку міських та регіональних систем.)

АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД МЕТОДІВ СПОСТЕРЕЖЕННЯ ЗА РУХОМИМИ ОБ'ЄКТАМИ

Стрімкий розвиток безпілотних літальних апаратів (БПЛА) створює нові виклики для систем безпеки та моніторингу. Завдання виявлення та ідентифікації малих рухомих об'єктів може ускладнюватися високим рівнем електромагнітних та акустичних завад, а також фізичними характеристиками самих об'єктів (мала площа розсіювання, низька висота польоту). Існуючі методи – радіочастотні, акустичні та візуальні – мають суттєві обмеження у вибірковості та надійності при роботі в ізольованому режимі. Аналіз та систематизація цих методів є необхідним кроком для розробки інтелектуальних систем автоматизованого спостереження, здатних ефективно функціонувати в умовах невизначеності.

Мета дослідження – проведення порівняльного аналітичного огляду сучасних методів виявлення та ідентифікації рухомих об'єктів (БПЛА) для визначення найбільш перспективних підходів до побудови систем автоматизованого спостереження.

Сучасні системи спостереження за рухомими об'єктами, зокрема БПЛА в умовах міського середовища використовують комплексний підхід, що базується на радіочастотних (RF), акустичних та візуальних методах. Кожен з цих підходів має свої технологічні особливості, переваги та критичні обмеження.

1. Радіочастотні методи виявлення (RF-based Detection) – це сукупність методів і засобів виявлення, ідентифікації та супроводження рухомих об'єктів, що базуються на використанні електромагнітних хвиль радіодіапазону. Ці методи засновані на здатності радіочастотних сигналів або випромінюватися об'єктом, або відбиватися від його поверхні.

Загалом радіочастотні методи поділяються на два фундаментальні типи: радар (активний метод) та RF-детектор (пасивний метод).

При використанні активного методу система випромінює радіосигнал у простір. Цей сигнал відбивається від корпусу БПЛА і повертається назад до антени радара. Система аналізує час затримки та зміну частоти (ефект Доплера). Дальність радара можна визначити як

$$R = \sqrt[4]{\frac{P_t G^2 \lambda^2 \sigma}{(4\pi)^3 P_r}}, \quad (1)$$

де σ – ефективна площа розсіювання (RCS), P_r позначає потужність сигналу, що повертається до антени радіолокатора, P_t – вихідну потужність передавача, G – коефіцієнт підсилення антени (який враховується у квадраті, оскільки одна й та сама антена зазвичай працює і на передачу, і на прийом), λ – довжина хвилі випромінювання, а R – відстань до об'єкта у четвертому ступені, що пояснює стрімке згасання сигналу з віддаленням цілі.

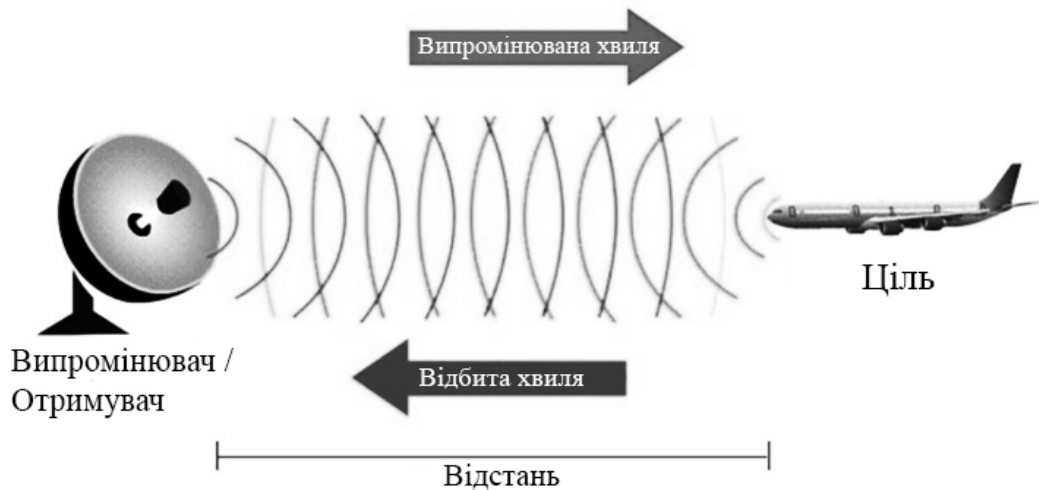


Рисунок 1 – Принцип роботи радару

При використанні RF-детектору (пасивний метод) – система нічого не випромінює, вона лише "слухає" ефір та шукає специфічні сигнали, які дрон надсилає пульта (відеопотік) або які пульт надсилає дрону (команди керування). Метод заснований на аналізі спектральних ознак, таких як WEE (вейвлет-ентропія) або PSE (спектральна ентропія).

Залежність від "тиші" об'єкта полягає у тому що радар побачить дрон, навіть якщо той летить у повному режимі радіомовчання (автономно по GPS-точкам), оскільки сигнал відбивається від фізичного тіла (пластику, металу). В той час як RF-система стане абсолютно марною, якщо дрон нічого не випромінює. Якщо зв'язок між пультом і дроном розірвано або вимкнено, RF-детектор його не помітить.

Для радару малий пластиковий дрон за розміром і відбивною здатністю схожий на великого птаха. Це головна проблема радарів (хибні цілі). Для RF-системи дрон ніколи не буде схожий на птаха, тому що птахи не випромінюють цифрові сигнали на частотах 2.4 ГГц або 5.8 ГГц. RF-система дуже точно ідентифікує саме модель дрона за його цифровим "підписом". Традиційні підходи включають в себе екстракцію «відбитків пальців» (fingerprints) сигналу через статистичні метрики, такі як фрактальна розмірність (FD), біспектральний аналіз (AIB/SIB) та ентропія енергії вейвлетів (WEE).

Методи FD та SIB демонструють високу точність (до 100%) [1] для відомих типів об'єктів, проте їх ефективність різко падає при зустрічі з невідомими сигналами. Спектральна ентропія потужності (PSE) є більш універсальною, але менш точною.

Квадратичний інтегрований біспектр (SIB) використовується для виявлення фазового зв'язку в сигналі. Формула інтегрованого біспектру вздовж прямої $f_1 + f_2 = f_0$

$$B_{SIB}(f) = \int_0^f B(f_1, f - f_1) df_1, \quad (2)$$

де $B(f_1, f - f_1)$ – біспектр сигналу, вона показує зв'язок між частотами f_1 , f_2 та їх сумою $f = f_1 + f_2$, f – цільова частота, для якої розраховується інтегральний показник, f_1 – змінна інтегрування (внутрішня частота), за якою проводиться підсумовування значень біспектра вздовж лінії константи $f = f_1 + f_2$, $B(f_1, f_2)$ – біспектр сигналу, що визначається через перетворення Фур'є $X(f)$:

$$B(f_1, f_2) = E[X(f_1)X(f_2)X^*(f_1 + f_2)]. \quad (3)$$

Спектральна ентропія потужності (PSE):

$$H = - \sum_{i=1}^N P(f_i) \log_2 P(f_i), \quad (4)$$

де $P(f_i)$ нормалізована ймовірність появи i -ї частотної компоненти.

У задачах аналізу спектра це зазвичай відносна потужність сигналу на конкретній частоті f_i (нормалізована так, щоб сума всіх P дорівнювала 1), N — кількість дискретних частотних компонент у спектрі сигналу.

$$P(f_i) = \frac{S(f_i)}{\sum_{j=1}^N S(f_j)}, \quad (5)$$

де $S(f_i)$ — значення спектру потужності на конкретній i -й частоті, $P(f_i)$ — нормалізована потужність на частоті f_i , сума всіх $P(f_i)$ завжди дорівнюватиме 1, N — кількість дискретних частотних точок у вашому спектрі.

Таблиця 1 – Порівняльна характеристика методів спостереження за рухомими об'єктами

Характеристика	Радар	RF-детекція
Дальність	Велика (до 10-20 км для великих систем)	Середня (до 3-5 км)
Енергоспоживання	Високе (випромінювання сигналу)	Низьке (тільки прийом)
Непомітність	Видає себе (джерело випромінювання)	Повністю прихована система

Використання згорткових нейронних мереж (CNN) дозволяє автоматично витягувати ознаки безпосередньо з спектрограм або стиснутих сигналів. Процес опрацювання сигналу в системах глибокого навчання (DL) можна розділити на чотири ключові етапи:

- 1) Попередня обробка та трансформація - DL-моделі (наприклад, архітектури Mo et al. або Swinney et al.) досягають точності 99–100% [1]. Проте їхня робота критично залежить від наявності сигналу: автономні об'єкти, що не випромінюють RF-хвиль, залишаються «невидимими» для таких систем.
- 2) Автоматичне вилучення ознак (Feature Extraction) - на цьому етапі згорткова нейромережа (CNN) самостійно аналізує «зображення» сигналу. Спеціальні цифрові фільтри (згорткові шари) проходять по спектрограмі, виявляючи унікальні закономірності: амплітудні сплески, тривалість пауз та частотні зсуви.
- 3) Стиснення та агрегація даних - для прискорення обчислень мережа зменшує розмірність отриманих даних, залишаючи лише найважливішу інформацію. Використання шарів Pooling (субдискретизація) та робота зі стиснутими сигналами (Compressed Sensing).
- 4) Класифікація та ідентифікація - фінальний етап, де зібрані ознаки порівнюються з базою даних, на якій навчалася мережа.

2. Акустичні методи виявлення та спостереження – це сукупність методів локалізації та ідентифікації рухомих об'єктів, що базуються на прийомі та аналізі звукових хвиль (акустичних сигнатур), які виникають під час роботи силових установок об'єкта, обертання пропелерів або аеродинамічних шумів. Традиційні підходи базуються на коефіцієнтах Мел-частотних кепстральних ознак (MFCC) та лінійних прогнозних кепстральних коефіцієнтах (LPCC).

Для вилучення ознак звуку двигунів використовується Мел-шкала, яка переводить фізичну частоту у психоакустичну шкалу (у Меллах)

$$m = 2595 \cdot \log_{10} \left(1 + \frac{f}{700} \right). \quad (6)$$

Після цього обчислюються самі коефіцієнти MFCC за допомогою дискретного косинусного перетворення (DCT)

$$C_n = \sum_{m=1}^M \log(S_m) \cos \left[\frac{\pi n}{M} \left(m - \frac{1}{2} \right) \right], \quad (7)$$

де C_n , n – й Мел-кепстральний коефіцієнт, M – загальна кількість фільтрів у Мел-фільтрбанку, S_m – енергія (потужність) сигналу, виміряна m -м Мел-фільтром, n – індекс кепстрального коефіцієнта.

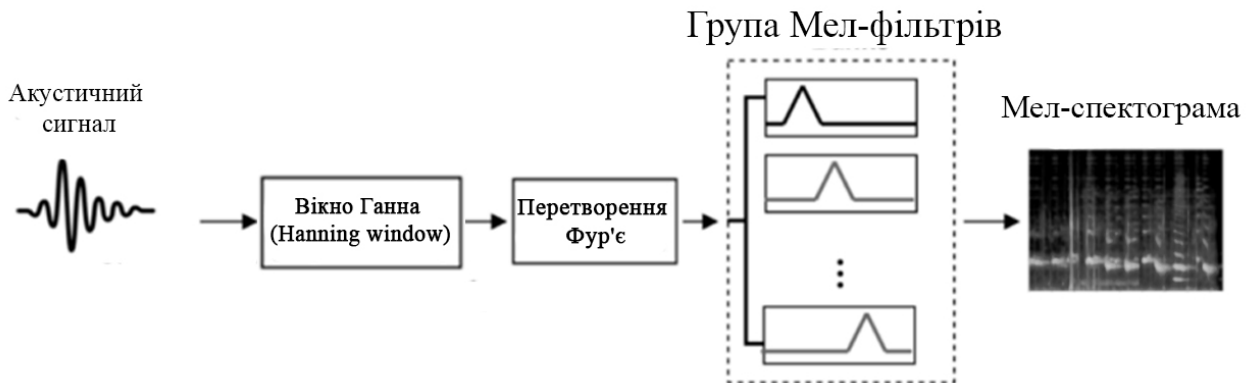


Рисунок 2 – Принцип роботи Мел-фільтрів

Акустичні системи дуже чутливі до навколишнього шуму (вітер, трафік) і мають вкрай обмежений радіус дії — зазвичай до 300 метрів [1].

Використання згорткових нейронних мереж (CNN), які аналізують не сам звук, а його Log-Mel спектрограми (візуалізацію звуку) показують точність до 98-99% [1]. перетворення звуку в Log-Mel спектрограми з подальшою класифікацією через CNN підвищує надійність розпізнавання [5]. Незважаючи на високу точність в ідеальних умовах, коротка дистанція виявлення обмежує застосування цих методів лише локальним моніторингом (школи, житлові зони).

3. Візуальні методи виявлення та спостереження (Vision-based Detection) — це сукупність методів і алгоритмів комп'ютерного зору, що базуються на аналізі зображень або відеопотоку в оптичному (RGB) або інфрачервоному (IR) діапазонах для автоматичної фіксації, ідентифікації та відстеження траєкторії руху об'єктів.

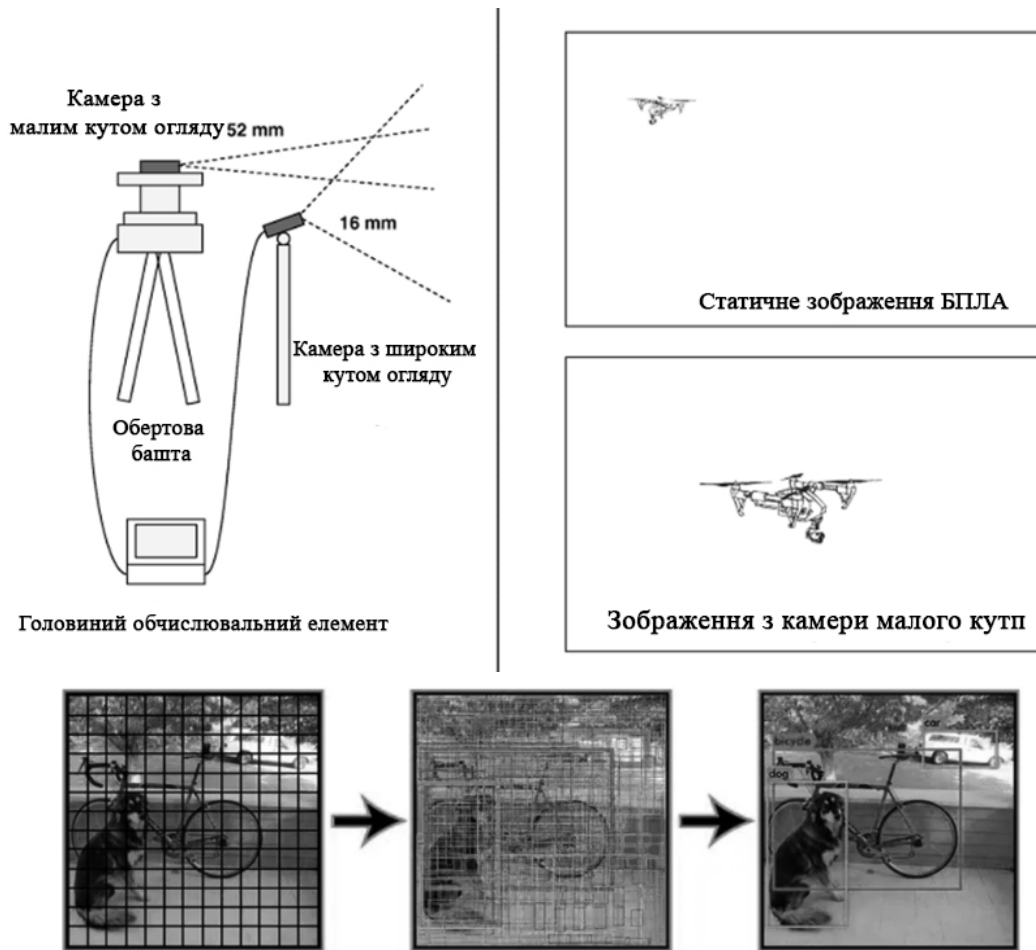


Рисунок 3 – Система виявлення дронів за допомогою візуальних методів

Система виявлення дронів складається переважно з трьох взаємопов'язаних компонентів: статичної ширококутної камери, обертової турелі, оснащеної камерою з низьким кутом огляду, та головного керуючого комп'ютера на базі Linux.

Двоетапні детектори (наприклад, Faster R-CNN) пропонують зони інтересу, а потім класифікують їх. Забезпечують високу точність (mAP 73.2%) [3], але працюють повільніше.

Одноетапні детектори (YOLO, SSD) виконують детекцію та класифікацію за один прохід мережі. Ключовою є функція втрат Focal Loss, яка дозволяє мережі ігнорувати "легкі" приклади фону і фокусуватися на важких об'єктах (малих БПЛА):

$$FL(p_t) = -\alpha_t(1 - p_t)^\gamma \log(p_t), \quad (8)$$

де p_t – ймовірність того, що об'єкт належить до цільового класу, $(1 - p_t)^\gamma$ – модулюючий фактор, γ – параметр фокусування.

YOLO є найпопулярнішим для систем реального часу завдяки швидкості (до 155 FPS), але має труднощі з локалізацією дуже малих об'єктів на великій відстані. Основною проблемою залишається схожість малих БПЛА з птахами. На відстані понад 1000 м ідентифікація стає майже неможливою [3-4].

Таблиця 2 – Порівняльна характеристика технологій спостереження

Технологія	Метод локалізації	Дальність	Основні виклики
Радар	Доплерівське відстеження	10 000 м	Мала площа відбиття, низька висота польоту
RF	RSS/AOA (сигнал)	5000 м	Шум середовища, багатопроменевість, відсутність сигналу у автономних БПЛА
Візія	Рух/Deep Learning	100–1000 м	Плутанина з птахами, складність виявлення малих об'єктів
Акустика	TDOA/AOA (звук)	0–300 м	Високий рівень фонового шуму, швидке згасання звуку

Загальні висновки та перспективи подальших досліджень. Аналіз стану досліджень показує, що жодна окрема технологія не є універсальною. Традиційні методи поступово витісняються алгоритмами глибокого навчання, які демонструють точність понад 90% при навчанні на спеціалізованих наборах даних.

Недоліками існуючих методів є:

- Залежність від даних. Якість роботи моделей критично залежить від якості датасетів (таких як DroneRF, Det-Fly, Real World), багато з яких мають обмежену кількість сценаріїв.
- Проблема малих об'єктів. Візуальні системи все ще погано справляються з детекцією на великих відстанях через низьку роздільну здатність цілі.
- Мульти-modalність. Для підвищення надійності перспективним напрямком є комбінування 2–3 технологій одночасно (наприклад, RF + Візія), що дозволяє компенсувати недоліки кожної з них.

Подальші дослідження будуть спрямовані на розробку методів мульти-modalного об'єднання даних. Зокрема, планується дослідити алгоритми об'єднання сигналів від акустичних решіток або візуальних сенсорів для підвищення точності ідентифікації об'єктів. Перспективним напрямком є також оптимізація обчислювальних витрат нейромережевих моделей для їх реалізації на вбудованих системах.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Xiaochen Yan, Tingting Fu, Huaming Lin, Feng Xuan, Yi Huang, Yuchen Cao, Haoji Hu and Peng Liu. UAV Detection and Tracking in Urban Environments Using Passive Sensors: A Survey. *Appl. Sci.* 2023, 13(20), 11320 URL: <https://doi.org/10.3390/app132011320>
2. Tian S., Li Y., Zhang X., Zheng L., Cheng L., She W., Xie W. Fast UAV path planning in urban environments based on three-step experience buffer sampling DDPG. *Digital Communications and Networks*. 2024. Vol. 10. Iss. 4. P. 813–826. URL: <https://doi.org/10.1016/j.dcan.2023.02.016>
3. Eren Unlu, Emmanuel Zenou, Nicolas Riviere & Paul-Edouard Dupouy. Deep learning-based strategies for the detection and tracking of drones using several cameras. *EURASIP Journal on Information Security*. 2019. Vol. 11. Art. 7. URL: <https://link.springer.com/article/10.1186/s41074-019-0059-x>
4. Aydın İ., Kızılay E. Development of a new Light-Weight Convolutional Neural Network for acoustic-based amateur drone detection. *Applied Acoustics* Al-Emadi S., Al-Ali A., Al-Senaid M. Audio-based Drone Detection and Identification using Convolutional Neural Networks. *Applied Acoustics*. 2022. Vol. 192. 108745. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0003682X22001475>
5. Heidari A., Navimipour N. J., Unal M., Zhang G. Machine Learning Applications in Internet-of-Drones: Systematic Review, Recent Deployments, and Open Issues. *ACM Computing Surveys*. 2023. Vol. 55. Iss. 12. Art. 247. P. 1–45. URL: <https://doi.org/10.1145/3571728>

СЕКЦІЯ
«СИСТЕМИ
ВІДОБРАЖЕННЯ ІНФОРМАЦІЇ
І КОМП'ЮТЕРНІ ТЕХНОЛОГІЇ»

АНАЛІЗ СУЧАСНИХ ГЕНЕРАТИВНИХ МОДЕЛЕЙ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ ДЛЯ СИНТЕЗУ ВІДЕОІНФОРМАЦІЇ НА ПРИКЛАДІ RİKA

У сучасному цифровому середовищі створення відеоконтенту стає одним із ключових елементів ефективної комунікації. Зростання обсягів інформації, популярність соціальних мереж та перехід на дистанційне навчання зумовлюють потребу у швидких і доступних інструментах генерації відео. Традиційні методи відеовиробництва вимагають значних часових витрат, спеціального обладнання та професійних навичок монтажу. Натомість генеративні моделі штучного інтелекту дозволяють автоматизувати цей процес, перетворюючи текстовий опис або статичне зображення на повноцінне відео за лічені хвилини [1].

У рамках нашого дослідження ми провели комплексний аналіз сучасних генеративних моделей, зокрема дифузійних моделей і трансформерних архітектур, та на практиці випробували одну з провідних платформ – Rіka (на момент дослідження використовувались версії до Rіka 2.5).

За мету в цій роботі було поставлено вивчити теоретичні основи роботи таких систем; проаналізувати архітектуру та можливості платформи Rіka; застосувати її для створення освітнього та профорієнтаційного контенту кафедри програмних засобів і технологій Херсонського національного технічного університету; оцінити переваги та обмеження інструменту на основі власного досвіду.

Актуальність роботи посилюється тим, що в умовах дистанційного навчання якісний візуальний контент стає важливим засобом привернення уваги абітурієнтів і підвищення залученості студентів.

Теоретичні основи генеративних моделей для синтезу відео. Дифузійні моделі. Дифузійні моделі є одним із найефективніших підходів до генерації візуального контенту. Їхній принцип базується на прямому процесі (поступове додавання гауссового шуму до даних) та зворотному процесі – денойзингу, під час якого модель вчиться передбачати та видаляти шум.

У контексті відео дифузійні моделі розширюються до роботи з часовою послідовністю. Ми відзначаємо, що використання latent diffusion (генерація в стисненому латентному просторі) значно знижує обчислювальне навантаження, а підходи video diffusion забезпечують кращу часову узгодженість між кадрами. Саме ці механізми лежать в основі сучасних версій Rіka і дозволяють отримувати відносно плавні відеопослідовності [3], [5], [9], [10].

Трансформери в генерації відео. Архітектура трансформерів, вперше описана в роботі «Attention Is All You Need», відіграє ключову роль у обробці текстових промптів і моделюванні залежностей. Механізм self-attention дозволяє системі враховувати як просторові зв'язки всередині одного кадру, так і часову послідовність між кадрами.

У нашому аналізі ми переконалися, що трансформери забезпечують семантичну відповідність між описом і згенерованим відео, що є особливо важливим при створенні складних сцен [5], [8], [9].

Основні підходи до генерації відео. Ключовими вимогами до якісного результату ми вважаємо природність руху, часову консистентність та точну відповідність промпту. Сучасні платформи, включаючи Rіka, підтримують кілька основних режимів:

- Text-to-video – генерація відео виключно за текстовим описом;
- Image-to-video – додавання руху до статичного зображення;
- Video-to-video – редагування та трансформація існуючого відео (зміна стилю, об'єктів тощо) [5], [9], [10].

Архітектура та принципи роботи платформи Pika. Загальна характеристика. Платформа Pika є мультимодальною генеративною системою, орієнтованою на швидке створення коротких відеороликів. У ході нашого дослідження ми активно працювали з її можливостями text-to-video та image-to-video. Інтерфейс платформи інтуїтивний і дозволяє користувачам без спеціальної підготовки швидко отримувати результат [9].

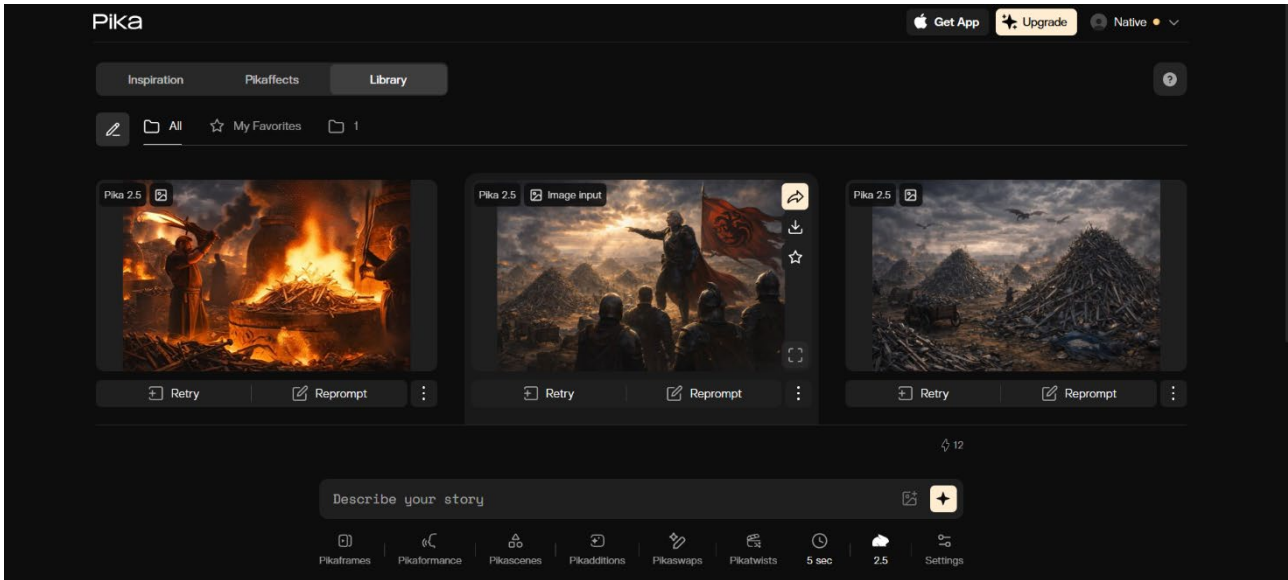


Рисунок 1 – Інтерфейс платформи Pika (головний екран з прикладами генерацій)

Використання дифузійних моделей у Pika. Генерація в Pika відбувається в латентному просторі, що дозволяє ефективно обробляти часову послідовність кадрів. У версіях Pika 2.2–2.5 значно покращилася стабільність руху та зменшилася кількість мерехтіння між кадрами завдяки вдосконаленій темпоральній консистентності. Під час наших тестів ми помітили, що модель добре справляється з реалістичними сценами, але при дуже динамічних діях або великій кількості об'єктів все ще можливі невеликі артефакти [9], [10].

Роль трансформерів у Pika. Трансформерна частина відповідає за глибоке розуміння промптів і підтримання стабільності сцени протягом усього відео. Ми встановили, що детальний опис камери (pan, dolly, orbit), стилю та руху суттєво підвищує якість результату.

Процес генерації відео в Pika (наш практичний досвід). Застосовувано такий покроковий алгоритм роботи:

1. Підготовка детального сценарію та промпту (з описом дій, камери та стилю).
2. Генерація або завантаження референсного зображення.
3. Запуск генерації в режимі Image-to-Video або Text-to-Video.
4. Застосування додаткових інструментів (Pikaframes, Pिकासwaps, Pikaffects).
5. Постобробка та експорт.

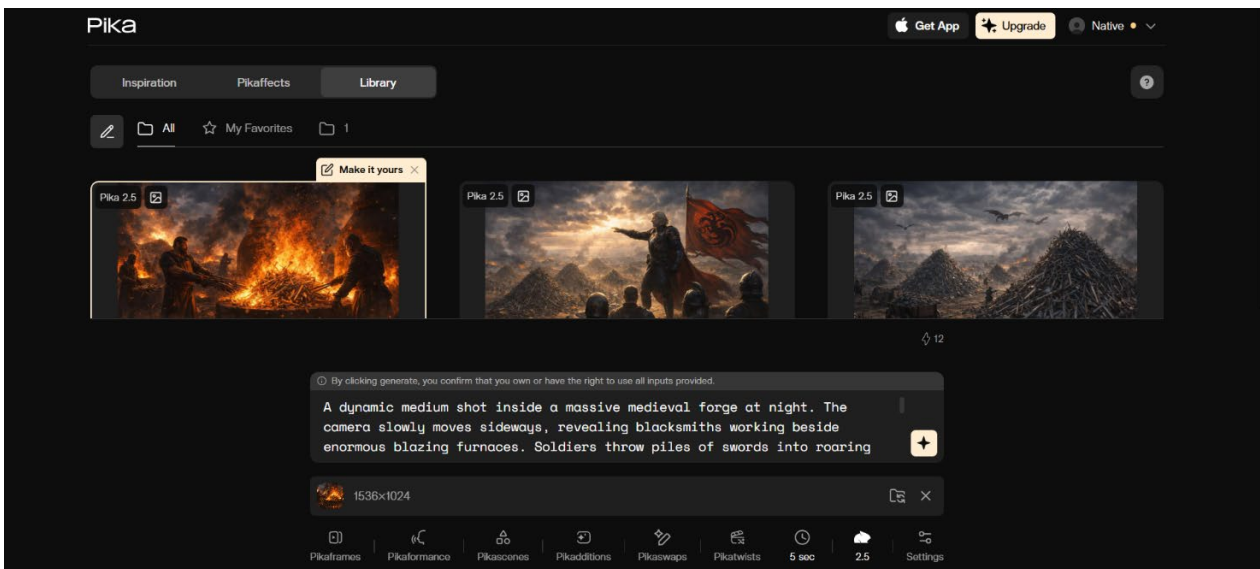


Рисунок 2 – Процес анімації зображення в Pika (image-to-video)

Практичне застосування Pika. У рамках дослідження розроблено серію коротких профорієнтаційних роликів для кафедри. Робота проходила в кілька етапів:

Спочатку за допомогою Grok створено структурований сценарний план на основі навчальних матеріалів. Далі ChatGPT згенерував набір статичних ілюстрацій за детальними промптами. На останньому етапі Pika (у поєднанні з Gemini Veo) «оживила» ці зображення, додавши природний рух, ефекти та динаміку.

Отримані ролики були опубліковані в Instagram та інших соціальних мережах. Вони продемонстрували хороший відгук від абітурієнтів і допомогли сформувати сучасний цифровий імідж кафедри в умовах дистанційного навчання.



Рисунок 3 – Приклад згенерованого нами промо-відео (кадри з результату)

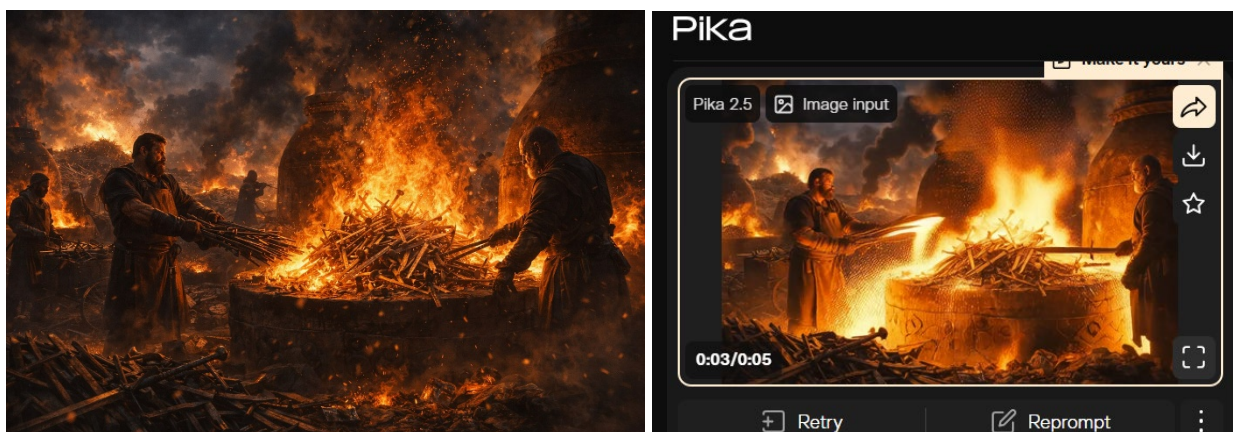


Рисунок 4 – Порівняння: статичне зображення (з ChatGPT) та анімований результат у Pika

Переваги та недоліки Pika (на основі нашого досвіду)

Переваги:

- Швидкість генерації – коротке відео створюється за 1–3 хвилини.
- Зручний інтерфейс і підтримка мультимодальності (текст + зображення).
- Хороша деталізація та покращена реалістичність руху в Pika 2.5.
- Додаткові творчі інструменти (Pikaffects, Pika swaps, Pikaframes), які дозволяють редагувати відео без повного перезапуску.
- Можливість створення контенту для соціальних мереж та освіти без професійного монтажу.

Недоліки:

- Обмежена тривалість одного кліпу (зазвичай 5–10 секунд у безкоштовній версії, до 30 секунд у платних).
- Залежність якості від майстерності складання промпту.
- Іноді виникають артефакти: зміна форми об'єктів, мерехтіння або неузгодженість освітлення в складних сценах.
- Обмеження безкоштовної версії (водяні знаки, кількість генерацій, відсутність комерційного використання).
- Високі обчислювальні вимоги для тривалих або дуже деталізованих відео.
- Ми дійшли висновку, що для короткого промо-контенту та прототипування Pika є одним із найкращих доступних інструментів, але для складних довгих роликів її ще потрібно поєднувати з класичним монтажем.

Висновки. У ході дослідження проаналізовано теоретичні основи сучасних генеративних моделей і на практиці випробували платформу Pika. Поєднання дифузійних моделей і трансформерних архітектур дозволяє ефективно вирішувати задачі text-to-video та image-to-video генерації.

Практичне застосування Pika в поєднанні з Grok і ChatGPT дозволило суттєво автоматизувати створення освітнього та профорієнтаційного відеоконтенту, зменшити витрати часу та ресурсів.

Незважаючи на існуючі технічні обмеження (тривалість відео, стабільність складних сцен), технологія демонструє значний потенціал. У майбутньому розвиток таких інструментів дозволить ще більше розширити можливості автоматизованої візуальної комунікації в освіті, маркетингу та науці.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Субботін С. О. Подання й обробка знань у системах штучного інтелекту та підтримки прийняття рішень: Навчальний посібник. Запоріжжя: ЗНТУ, 2019. 354 с.
2. Шаховська Н. Б., Литвин В. В. Інтелектуальні системи. Львів: Новий Світ-2000, 2018. 480 с.
3. Бодяньський Є. В., Руденко О. Г. Штучні нейронні мережі: архітектури, навчання, застосування. Харків: ТОВ «Компанія СМІТ», 2004. 369 с. (фундаментальна база).
4. Терейковський І. А. Нейронні мережі в засобах автоматизації. Київ: Політехніка, 2017. 248 с.
5. Глибоке навчання для комп'ютерного зору: методи та алгоритми. *Збірник наукових праць Інституту проблем моделювання в енергетиці ім. Г.Є. Пухова*. 2021. Вип. 94.
6. Використання генеративно-змагальних мереж (GAN) для синтезу зображень. *Вісник Національного університету «Львівська політехніка»*. Серія: Інформаційні системи та мережі. 2022.
7. Литвин В. В. Методи та засоби інтелектуальної обробки текстової інформації. Львів: Магнолія-2006, 2021. 312 с.
8. Механізми трансформерів в задачах машинного перекладу. *Математичне та комп'ютерне моделювання*. Серія: Технічні науки. 2023. Вип. 24.
9. Аналіз сучасних платформ генерації відеоконтенту на основі штучного інтелекту. *Сучасні інформаційні технології та системи в управлінні*. 2023.
10. Перспективи застосування дифузійних моделей у мультимедійних системах. *Наукові записки Українського науково-дослідного інституту зв'язку*. 2023. № 2 (70).

ВИКОРИСТАННЯ СУЧАСНИХ НЕЙРОМЕРЕЖЕВИХ ТЕХНОЛОГІЙ ДЛЯ СТВОРЕННЯ ВІДЕОКОНТЕНТУ З МЕТОЮ ЕФЕКТИВНОГО ВІДОБРАЖЕННЯ ІНФОРМАЦІЇ

У сучасних умовах цифровізації суспільства та стрімкого розвитку інформаційних технологій особливої актуальності набувають питання ефективного представлення та візуалізації інформації. Відеоконтент є одним із найбільш доступних, наочних і впливових засобів передачі інформації, що забезпечує швидке сприйняття та краще засвоєння матеріалу.

Актуальність даного дослідження значно посилюється в умовах функціонування переміщених закладів вищої освіти, зокрема Херсонського національного технічного університету, освітній процес у якому переважно здійснюється у дистанційному форматі. За таких умов особливого значення набувають сучасні цифрові засоби комунікації зі здобувачами освіти та абітурієнтами.

Одним із важливих напрямів діяльності кафедри програмних засобів і технологій є проведення профорієнтаційної роботи, спрямованої на залучення абітурієнтів. У зв'язку з відсутністю можливості безпосередньої очної взаємодії, виникає потреба у створенні привабливого, динамічного та інформативного відеоконтенту, який може ефективно поширюватися через соціальні мережі та цифрові платформи.

Набір відео, що розглянуто в даній роботі створене в рамках навчального проекту для вивчення дисциплін: «Комп'ютерна графіка», «Основи розробки комп'ютерних ігор», «Аудіо та відео інженерія комп'ютерних ігор».

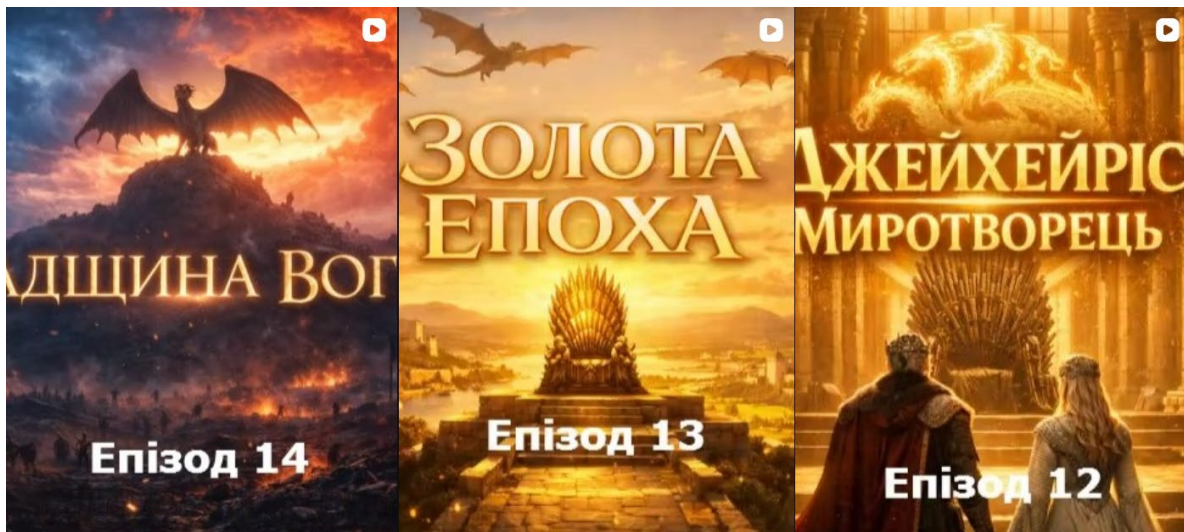


Рисунок 1 – Приклад створених відео

Традиційні методи створення відео потребують значних ресурсів і часу, що ускладнює регулярне оновлення контенту. Водночас сучасні нейромережеві технології дозволяють автоматизувати процес створення відео, використовуючи текстові описи, зображення та інші вхідні дані, що значно підвищує ефективність підготовки інформаційних матеріалів.

Застосування таких технологій дає можливість оперативно створювати якісний відеоконтент для популяризації освітніх програм, підвищення зацікавленості потенційних абітурієнтів та формування позитивного іміджу кафедри в цифровому середовищі.

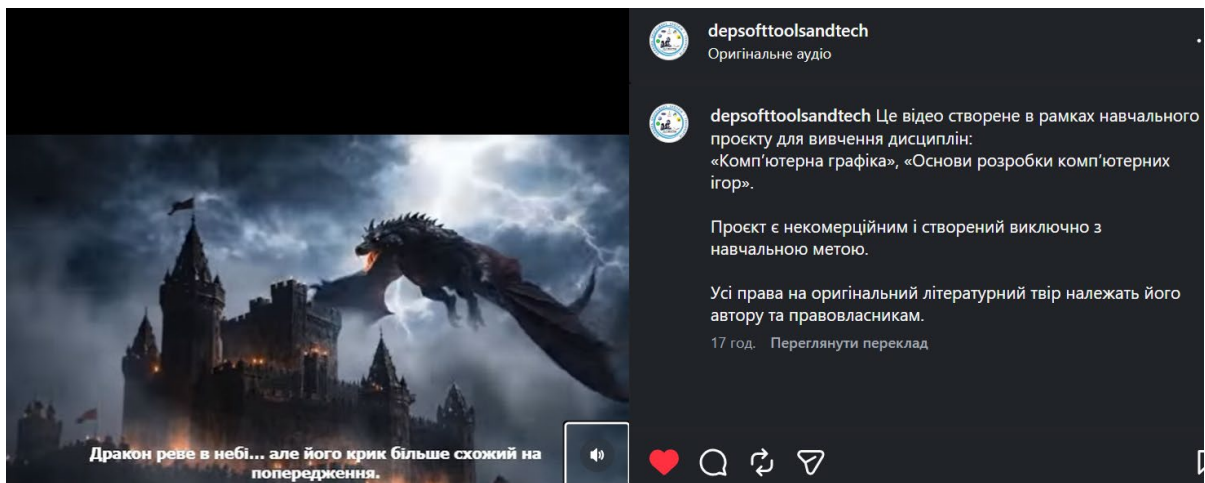


Рисунок 2 – Приклад відео в Instagram

Таким чином, дослідження можливостей використання сучасних нейромереж для створення відеоконтенту в умовах дистанційного навчання та профорієнтаційної діяльності є актуальним і має важливе практичне значення.

Метою даної роботи є дослідження можливостей використання сучасних нейромережових технологій для автоматизованого створення відеоконтенту з метою ефективного відображення інформації та їх практичне застосування у профорієнтаційній діяльності кафедри програмних засобів і технологій.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі задачі:

- проаналізувати сучасні підходи до генерації відео з використанням нейромереж;
- розглянути інструменти та сервіси для створення відеоконтенту на основі штучного інтелекту;
- дослідити можливості автоматизації процесу створення інформаційних відео;
- розробити приклад відеоконтенту для профорієнтаційної діяльності;
- оцінити ефективність використання створеного відео для залучення абітурієнтів.

Основні технології. Сучасні нейромережові технології відкривають широкі можливості для автоматизації процесу створення відеоконтенту. В основі таких рішень лежать генеративні моделі, алгоритми комп'ютерного зору та системи обробки природної мови, які дозволяють трансформувати текстову, графічну та аудіоінформацію у повноцінні відеоматеріали.

Одним із ключових напрямів є технології генерації відео на основі текстового опису (Text-to-Video). Вони базуються на дифузійних моделях та трансформерах, які здатні створювати послідовності зображень відповідно до заданого сценарію. Такі системи дозволяють швидко отримувати відеофрагменти без необхідності ручного монтажу.

Важливу роль відіграють технології створення віртуальних аватарів та синтезу мовлення. Нейромережі забезпечують генерацію реалістичних цифрових персонажів, які можуть озвучувати текст різними мовами з урахуванням інтонації та емоційного забарвлення. Це дає змогу створювати презентаційні та навчальні відео без залучення реальних дикторів.

Крім того, застосовуються інтелектуальні системи автоматичного монтажу відео, які реалізують функції розпізнавання сцен, додавання субтитрів, синхронізації аудіо та підбору візуальних ефектів. Такі технології значно скорочують час обробки відеоматеріалів і підвищують їх якість.

Окремим напрямом є генерація зображень та анімації за допомогою нейромереж, що дозволяє створювати ілюстративний матеріал для відео. Це особливо актуально для освітнього контенту, де важлива наочність і структурованість подачі інформації.

Таким чином, поєднання різних нейромережових технологій забезпечує комплексний підхід до створення відеоконтенту, що є ефективним інструментом для відображення інформації в умовах цифрового середовища.

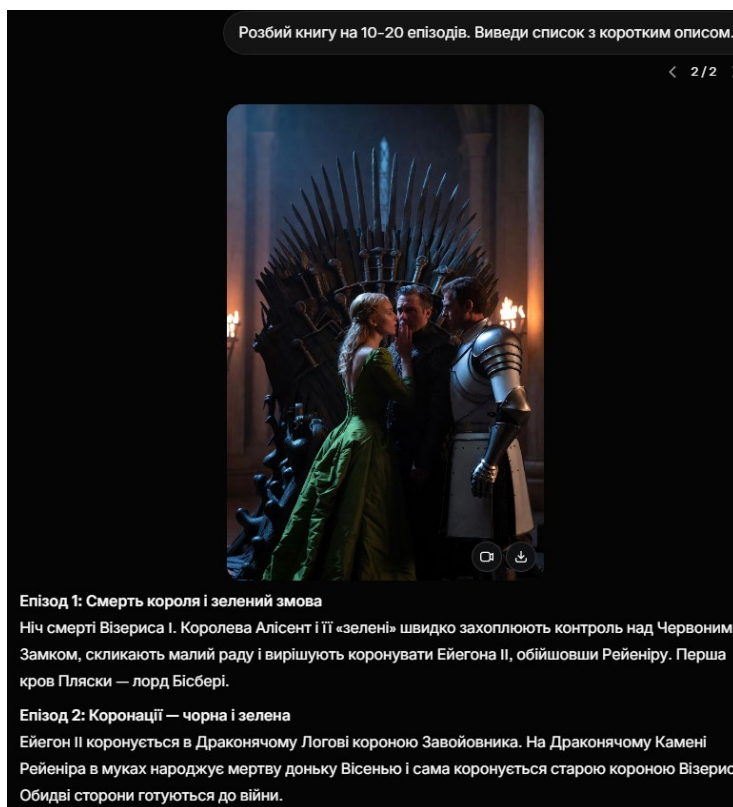


Рисунок 3 – Приклад роботи генерації відео на основі текстового опису

Створення плану тексту. На початковому етапі розробки відеоконтенту здійснюється формування структурованого плану тексту, який визначає логіку подачі матеріалу та послідовність сцен. Для цього було використано можливості нейромережі Grok, що дозволяє генерувати узгоджений та змістовний текстовий контент.

План створювався на основі навчального матеріалу (книги), що забезпечило відповідність змісту освітнім цілям і достовірність інформації. Нейромережа використовувалась для узагальнення ключових положень, виділення основних тез та побудови логічної структури майбутнього відео.

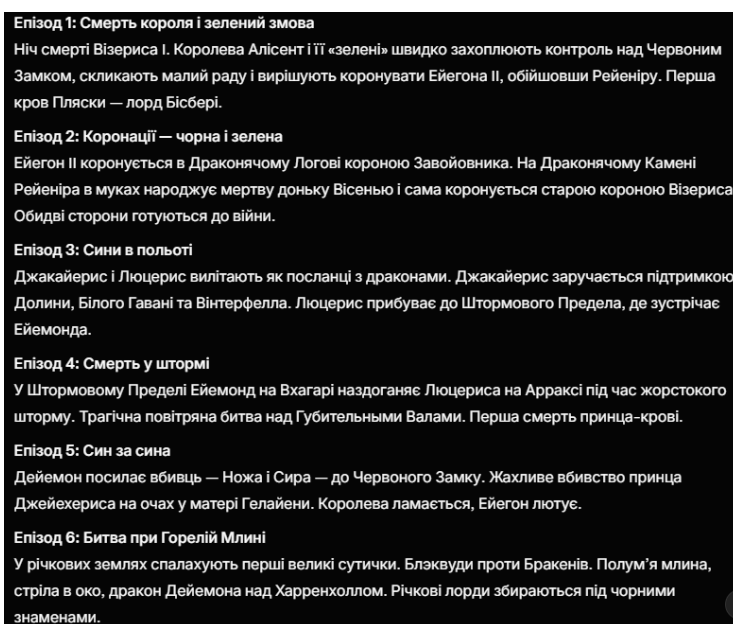


Рисунок 4 – Приклад створення плану тексту

У результаті було отримано чіткий сценарний план, який слугує основою для подальшої генерації відеоконтенту.

Створення зображень на основі плану. На наступному етапі відповідно до сформованого плану здійснювалося створення ілюстративного матеріалу для відео. Для цього за допомогою нейромережі Grok формувалася текстовий опис (промпт), який враховував зміст кожної сцени та необхідні візуальні елементи.

Сформовані промпти передавалися до ChatGPT, де на їх основі генерувалися відповідні зображення. Такий підхід дозволив отримати ілюстрації, що відповідають змісту сценарію та забезпечують наочність відеоматеріалу.

У результаті було сформовано набір зображень, які використовуються як основа для подальшого створення відеоконтенту.

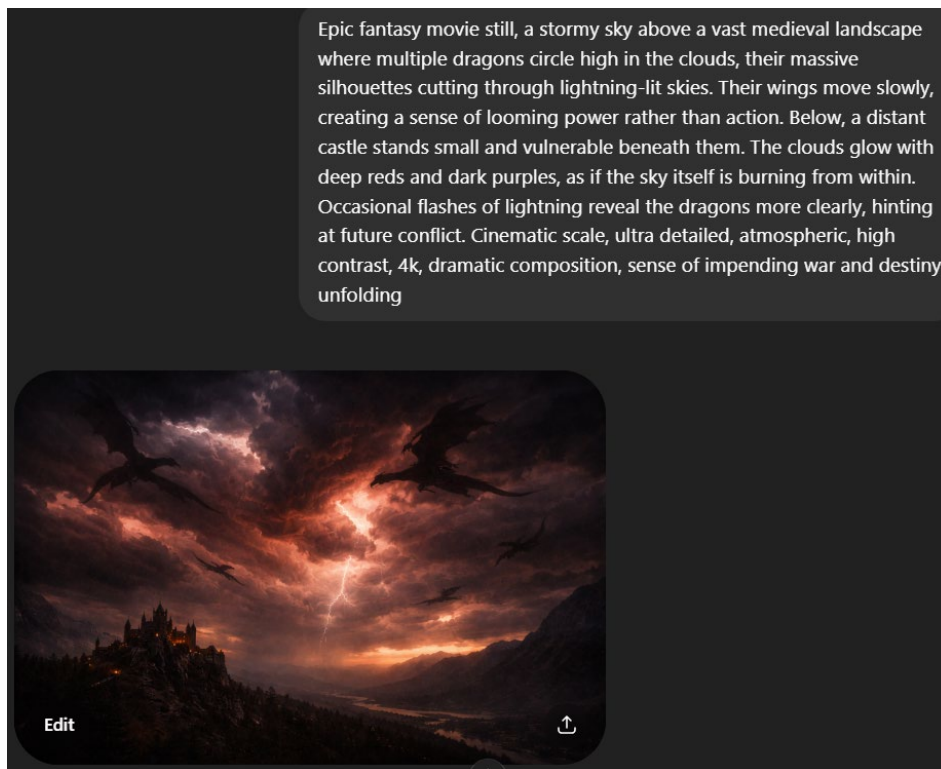


Рисунок 5 – Приклад створення зображень на основі плану

Створення відео на основі зображень. На наступному етапі здійснювалося створення відеоконтенту на основі згенерованих зображень. Для цього за допомогою нейромережі Grok формувалася розширений промпт, який враховував як попередньо створений план, так і візуальний зміст зображення.

Отримані промпти передавалися до систем Pika та Gemini Veo, які забезпечують генерацію відео на основі текстових описів і графічних матеріалів. У результаті виконувалася анімація статичних зображень із додаванням руху, ефектів та динаміки сцени.

Такий підхід дозволив отримати короткі відеофрагменти, що відповідають заданому сценарію та можуть бути використані як складові елементи фінального відео.

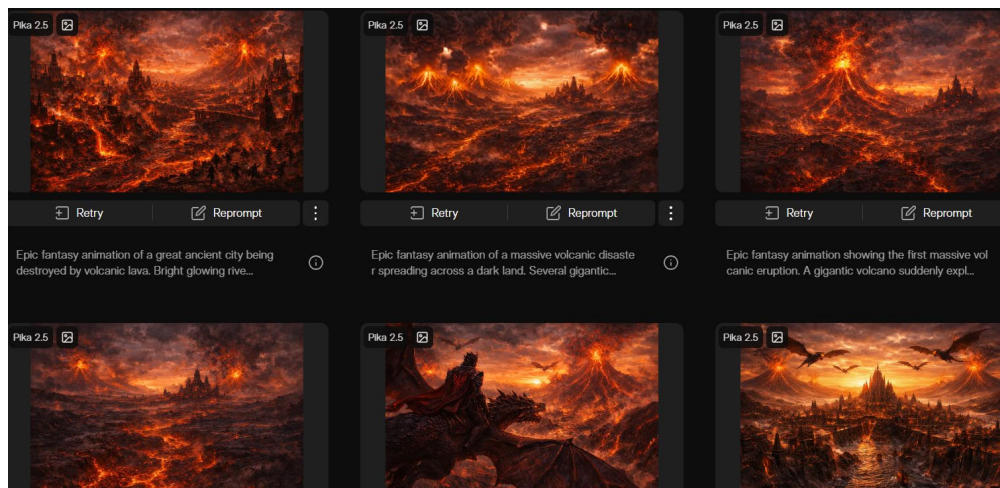


Рисунок 6 – Приклад створення відео на основі зображень

Практичне застосування. Запропонований підхід було реалізовано у профорієнтаційній діяльності кафедри для створення серії коротких відеороликів для залучення абітурієнтів. На основі навчальних матеріалів формувався сценарний план за допомогою Grok, після чого генерувалися ілюстрації у ChatGPT та створювалися анімовані відеофрагменти за допомогою Pika і Gemini Veo. Отриманий відеоконтент публікувався у соціальних мережах та на цифрових платформах, що дозволило підвищити зацікавленість потенційних вступників, покращити візуальне сприйняття інформації про освітні програми та сформувати сучасний імідж кафедри в умовах дистанційного навчання.

Переваги та недоліки. Використання нейромережевих технологій для створення відеоконтенту має низку суттєвих переваг, зокрема значне скорочення часу на розробку матеріалів, зниження потреби у спеціалізованих навичках монтажу, можливість автоматизації більшості етапів створення відео, а також забезпечення високого рівня наочності та привабливості контенту для цільової аудиторії. Водночас існують і певні недоліки, серед яких варто відзначити залежність якості результату від правильно сформованих промптів, можливі неточності або помилки у згенерованому контенті, обмеження безкоштовних версій сервісів, а також наявність етичних ризиків, пов'язаних із використанням штучно створених зображень і відео.

Висновки. В результаті проведеного дослідження було встановлено, що сучасні нейромережеві технології є ефективним інструментом для автоматизованого створення відеоконтенту з метою відображення інформації. Використання таких інструментів, як Grok, ChatGPT, Pika та Gemini Veo, дозволяє реалізувати повний цикл створення відео – від формування сценарію до генерації анімованих сцен. Практичне застосування запропонованого підходу у профорієнтаційній діяльності кафедри програмних засобів і технологій показало його доцільність та ефективність.

ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ СУЧАСНИХ ГЕНЕРАТИВНИХ МОДЕЛЕЙ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ ДЛЯ СИНТЕЗУ ВІДЕО НА ПРИКЛАДІ GEMINI VEO ТА PİKA

У сучасному інформаційному середовищі відеоконтент посідає провідне місце серед засобів комунікації, навчання та популяризації знань. Завдяки високій наочності, динамічності та здатності швидко передавати складну інформацію, відео активно використовується в освіті, маркетингу, медіа та цифрових платформах. Водночас традиційне створення відеоматеріалів потребує значних часових, фінансових і технічних ресурсів, що обмежує його доступність для широкого кола користувачів.

Стрімкий розвиток генеративного штучного інтелекту, зокрема моделей типу Text-to-Video, відкриває нові можливості для автоматизації процесу створення відеоконтенту. Сучасні системи, такі як Gemini Veo та Pika, здатні генерувати відео на основі текстових описів або зображень, забезпечуючи достатній рівень якості та відповідності заданому сценарію. Це суттєво знижує поріг входу у створення мультимедійного контенту та розширює можливості його використання в різних сферах.

Метою даного дослідження є проведення порівняльного аналізу сучасних генеративних моделей штучного інтелекту для синтезу відео на прикладі зазначених систем. Для досягнення поставленої мети визначено такі завдання: проаналізувати теоретичні основи генерації відео, охарактеризувати функціональні можливості обраних систем, визначити критерії оцінювання якості генерації та здійснити їх порівняння на основі отриманих результатів.

Теоретичні основи генерації відео. Генеративні моделі штучного інтелекту є класом алгоритмів, призначених для створення нових даних на основі аналізу великих обсягів навчальної інформації. На відміну від дискримінативних моделей, що виконують класифікацію або прогнозування, генеративні моделі здатні синтезувати новий контент, зокрема зображення, текст, аудіо та відео. У контексті відеогенерації такі моделі формують послідовність кадрів, забезпечуючи їхню узгодженість у часі та відповідність заданому опису.

Сучасні системи генерації відео здебільшого базуються на поєднанні двох підходів: дифузійних моделей (diffusion models) та трансформерних архітектур (transformers). Дифузійні моделі працюють за принципом поступового відновлення даних із шуму: модель навчається перетворювати випадковий шум у структуроване зображення або відеокадр, крок за кроком уточнюючи деталі. Такий підхід забезпечує високу якість та реалістичність результатів. У свою чергу, трансформери відповідають за обробку послідовностей і контексту, що є критично важливим для відео, оскільки необхідно зберігати логічну та візуальну узгодженість між кадрами.



Рисунок 1а – Результат генерації відео Gemini Veo



Рисунок 16 – Результат генерації відео Pika

Рисунок 1 ілюструє результати генерації відео на основі однакового текстового промπτу різними моделями штучного інтелекту. На ньому представлено порівняння ключових кадрів (frames), отриманих у процесі синтезу відео, що дозволяє візуально оцінити якість, деталізацію та відповідність заданому опису. Зображення демонструє різницю у стилі, рівні реалістичності та передачі сцени: одна модель формує більш деталізоване та фізично узгоджене середовище, тоді як інша може відтворювати спрощену або стилізовану версію тієї ж сцени.

Крім того, ілюстрація дозволяє проаналізувати плавність переходів між кадрами та стабільність об'єктів у динаміці. У більш просунутих моделях спостерігається краща узгодженість руху, правильна геометрія об'єктів і збереження контексту між кадрами. Натомість у простіших системах можуть виникати незначні артефакти, зміни форми об'єктів або нестабільність сцени. Таким чином, зображення наочно підтверджує результати кількісного порівняння та підсилює висновки щодо переваг і недоліків досліджуваних моделей.

Одним із ключових напрямів є технологія Text-to-Video, яка передбачає генерацію відео на основі текстового опису. Користувач задає сценарій у вигляді тексту (промπτу), після чого модель інтерпретує його, формує візуальні образи та генерує відповідну відеопослідовність. Процес включає кілька етапів: аналіз тексту, побудову внутрішнього представлення сцени, генерацію окремих кадрів та забезпечення їхньої часової узгодженості.

Важливу роль у цьому процесі відіграють промпти – текстові інструкції, що визначають зміст, стиль, деталі та динаміку майбутнього відео. Якість і точність сформульованого промπτу безпосередньо впливають на кінцевий результат. Чіткі, деталізовані та структуровані описи дозволяють отримати більш контрольований і передбачуваний контент, тоді як нечіткі формулювання можуть призводити до неоднозначних або менш якісних результатів. Таким чином, ефективне використання генеративних моделей для синтезу відео значною мірою залежить не лише від архітектури моделей, але й від правильного формулювання запитів користувачем.

*Опис досліджуваних систем
Gemini Veo*

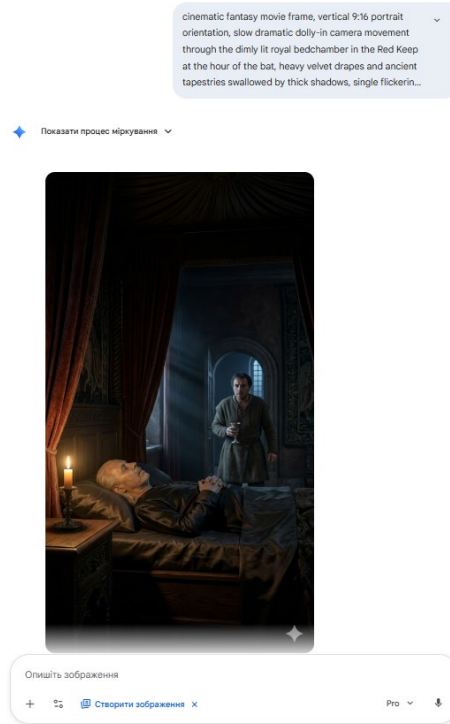


Рисунок 2 – Інтерфейс Gemini Veo

Система Gemini Veo є сучасною генеративною моделлю для синтезу відео, розробленою компанією Google. Вона орієнтована на створення високоякісного відеоконтенту з урахуванням складних текстових описів та кінематографічних характеристик.

До ключових можливостей системи належать генерація відео з тексту (Text-to-Video), підтримка складних сцен із кількома об'єктами, а також здатність враховувати фізику руху, освітлення та перспективу. Модель демонструє високий рівень деталізації, реалістичні текстури та плавність анімації, що робить її придатною для створення професійного контенту.

Особливістю генерації у Gemini Veo є глибоке розуміння контексту промпту та здатність зберігати логічну узгодженість між кадрами. Система добре інтерпретує складні описи, включаючи стилістичні вказівки (наприклад, «кінематографічне освітлення» або «дрон-зйомка»), що дозволяє отримувати більш передбачувані та контрольовані результати.

Pika

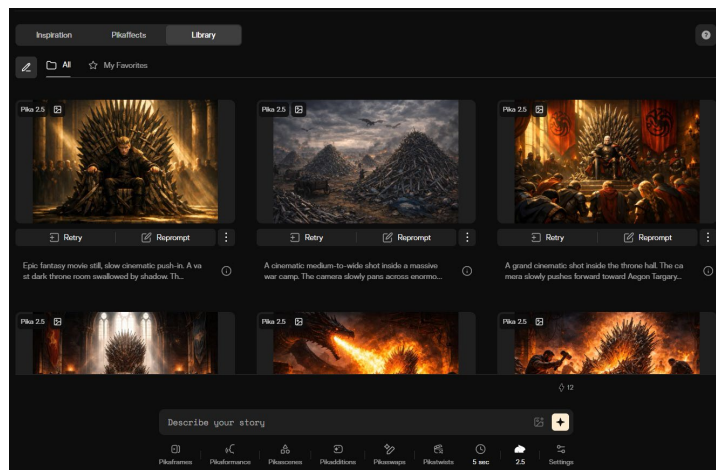


Рисунок 3 – Інтерфейс Pika

Pika є генеративною системою для створення відео, орієнтованою на простоту використання та швидке отримання результатів. Вона активно застосовується для створення коротких відео, анімацій та креативного контенту, особливо в соціальних мережах та освітніх проєктах.

Серед ключових можливостей системи варто відзначити генерацію відео на основі тексту або зображень, можливість редагування сцен, а також інтуїтивно зрозумілий інтерфейс. Pika дозволяє швидко експериментувати з різними стилями та варіантами генерації без необхідності глибоких технічних знань.

Особливістю генерації у Pika є акцент на швидкість та креативність. Модель забезпечує достатню якість зображення, однак інколи поступається у рівні деталізації та фізичної реалістичності більш складним системам. Водночас вона краще підходить для швидкого прототипування, створення анімацій та навчального контенту, де важлива оперативність і зручність використання.

Методика та результати порівняння. Для проведення порівняльного аналізу можливостей Gemini Veo та Pika було використано єдину методику оцінювання, що базується на застосуванні однакових промптів для обох систем. Це дозволило забезпечити об'єктивність результатів і коректне порівняння отриманого відеоконтенту.

У процесі дослідження використовувалися текстові описи сцен середньої складності (наприклад, рух об'єктів, зміна ракурсів, освітлення), що дозволяє оцінити не лише якість зображення, але й здатність моделей працювати з динамікою та контекстом.

Результати порівняння узагальнено в таблиці.

Таблиця 1 – Результати порівняння

Критерій	Gemini Veo	Pika
Якість відео	Висока, близька до реалістичної	Середня, інколи стилізована
Відповідність промπτу	Висока точність	Достатня, можливі відхилення
Деталізація	Високий рівень	Середній рівень
Плавність анімації	Плавна, природна	Іноді ривки або спрощення руху
Швидкість генерації	Повільніша	Швидша
Наявність водяного знака	Присутня	Немає
UX (зручність)	Складніший інтерфейс	Простий та інтуїтивний

Отримані результати показують, що Gemini Veo демонструє кращі показники за критеріями якості, деталізації та відповідності промπτу. Згенеровані відео мають більш реалістичний вигляд, правильну фізику руху та стабільність сцени. Водночас система потребує більше часу на генерацію та є менш зручною для швидкого використання.

У свою чергу, Pika показала кращі результати за швидкістю генерації та зручністю використання. Вона дозволяє оперативно створювати відео, що особливо важливо для прототипування та навчальних задач. Проте якість і деталізація зображення можуть поступатися більш складним моделям, а також іноді спостерігається зниження точності відповідності заданому промπτу.

Таблиця 2 – Загальна модель доступу

Параметр	Gemini Veo	Pika
Тип доступу	Обмежений / через підписки	Freemium
Безкоштовний доступ	Обмежений (через Google AI)	Так (з лімітами)
Платна підписка	Через екосистему Google	Є (Pika Pro / credits)
Система оплати	Підписка / API / кредити	Кредити + підписка

Gemini Veo характеризується інтеграцією в екосистему Google та складнішою моделлю доступу, яка зазвичай реалізується через beta-доступ, підписки (наприклад, AI-плани) або API-оплату за використання (pay-as-you-go); водночас система забезпечує високу якість генерації, кращу деталізацію та можливість створення більш тривалих відео, але є менш доступною для швидкого старту та може мати регіональні обмеження. Натомість Pika використовує прозору freemium-модель із доступом через вебінтерфейс, де безкоштовний тариф обмежений кількістю кредитів і якістю (зокрема водяними знаками), а платний (Pro) надає більше ресурсів, швидшу генерацію та покращену якість без watermark; ця система є значно простішою у використанні та доступною для початківців, однак поступається у рівні деталізації та залежить від кредитної моделі. Таким чином, Gemini Veo орієнтована на професійне використання та максимальну якість, тоді як Pika – на доступність, швидкість і зручність взаємодії.

Таким чином, результати порівняння свідчать про різну орієнтацію досліджуваних систем: Gemini Veo – на якість і реалістичність, тоді як Pika – на швидкість і доступність використання.

Обговорення результатів та висновки. Проведений порівняльний аналіз систем Gemini Veo та Pika дозволяє визначити їхні ключові переваги, обмеження та доцільність застосування в різних сферах. Gemini Veo демонструє високий рівень якості відео, деталізації та відповідності заданим промптам, що робить її ефективною для створення більш реалістичного та професійного контенту. До її сильних сторін належать точна інтерпретація складних описів, плавність анімації та збереження логіки сцени. Водночас система має певні недоліки, зокрема більший час генерації та відносно складніший інтерфейс, що може ускладнювати швидке використання.

Система Pika, у свою чергу, вирізняється високою швидкістю генерації та зручністю взаємодії з користувачем. Вона є більш доступною для початківців і підходить для швидкого створення креативного контенту. Однак її слабкими сторонами є нижчий рівень деталізації, іноді недостатня відповідність промпту та менш стабільна анімація.

З урахуванням отриманих результатів можна зробити висновок, що вибір конкретної системи залежить від поставлених задач. Для освітніх цілей, швидкого прототипування та створення контенту для соціальних мереж доцільніше використовувати Pika, тоді як для професійного відеовиробництва, маркетингу та медіапроектів більш ефективною є Gemini Veo. У підсумку, обидві системи демонструють значний потенціал розвитку, а подальше вдосконалення генеративних моделей штучного інтелекту сприятиме підвищенню якості, швидкості та доступності автоматизованого створення відеоконтенту.

СЕКЦІЯ
«НОВІТНІ ТЕХНОЛОГІЇ
В ЕНЕРГЕТИЧНИХ СИСТЕМАХ
ТА В ГАЛУЗІ ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ»

ОСОБЛИВОСТІ ВСТАНОВЛЕННЯ ФОТОЕЛЕКТРИЧНИХ СИСТЕМ НА ОСНОВІ ДВОСТОРОННІХ МОДУЛІВ

Основним напрямком підвищення ефективності фотоелектричного перетворювання на сьогодні є розвиток технології двосторонніх фотоелектричних модулів, які перетворюють енергію сонячного випромінювання, отриманого як фронтальною так і тильною сторонами модуля, що призводить до приросту продуктивності з одиниці площі на 5-30% у порівнянні з односторонніми [1]. Концепція двосторонніх фотоелектричних модулів завоювала значну частку ринку, перевищивши 64% у 2024 р. і за різними оцінками у 2030 році становитиме від 81% до 90 % [2, 3].

Для реалізації переваг двосторонніх модулів необхідною є оптимізація їх розташування, оскільки на генеровану потужність окрім кліматичних факторів впливають ряд параметрів, таких як інтервал між модулями, альbedo, висота над поверхнею землі, структура рами та елементів кріплення, орієнтація, кут нахилу тощо [4], що потребуватиме визначення рекомендацій для певних кліматичних умов.

В роботі досліджено вплив встановлення двосторонніх модулів на продуктивність фотоелектричної системи на їх основі для кліматичних умов м. Херсон.

Моделювання вироблення енергії фотоелектричною системою потужністю 3кВт на основі 5 двосторонніх модулів Heliene 156HC-635 M10 NTYP SL з коефіцієнтом двосторонності 0,8 та ефективністю 22,93% проведено в програмному середовищі System Advisor Model (SAM).

Визначення впливу кута нахилу на надходження сонячної радіації на фронтальну (рис. 1, а) та тильну (рис. 1, б) поверхні модулів, сумарну радіацію на поверхні модулів (рис. 1, в) та вироблення енергії системою (рис. 1, г) проводилось для орієнтації модулів південь-північ, альbedo 0,2, що є типовим значенням для трав'яного покриття, висоти встановлення модулів над поверхнею землі 1 м.

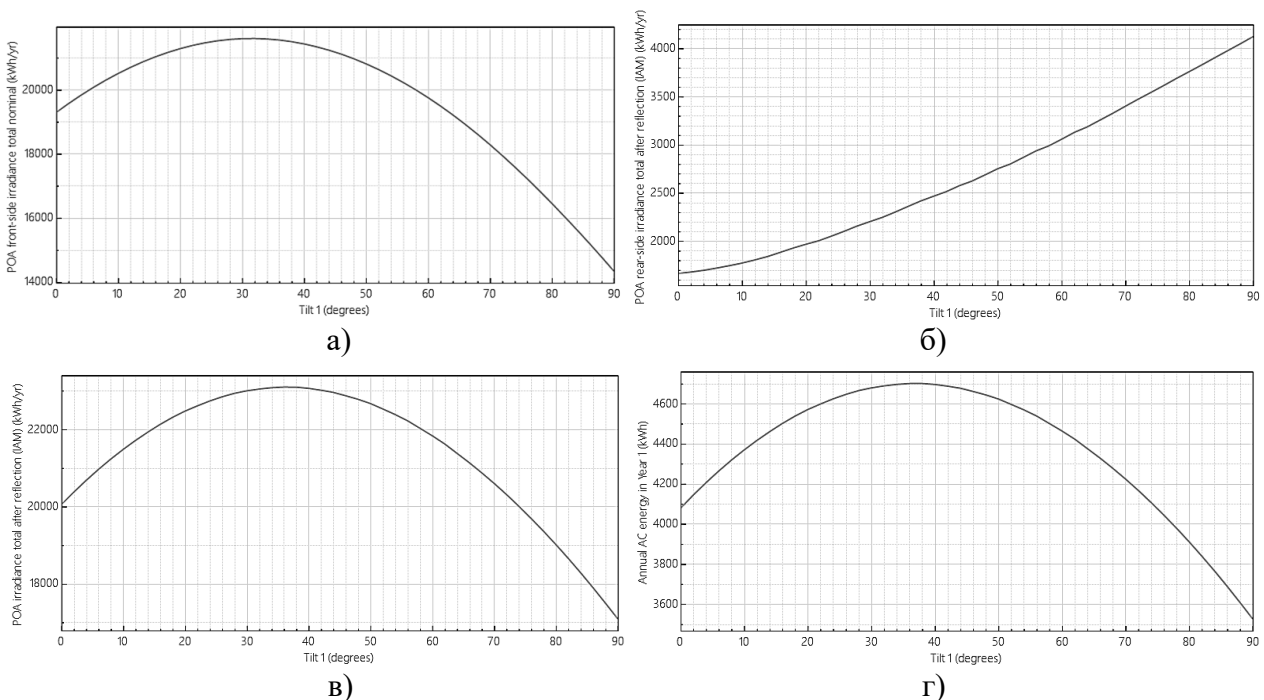


Рисунок 1 – Вплив кута нахилу на надходження сонячної радіації до поверхні модуля та вироблення енергії системою

Як видно з рис. 1, а оптимальним кутом нахилу односторонніх модулів для кліматичних умов м. Херсон є 32° , а наявність у двосторонньому модулі фотоактивної тильної поверхні, для якої надходження відбитої від підстилаючої поверхні радіації зростає разом із кутом нахилу (рис. 1, б), приводить до збільшення оптимального кута для двосторонніх модулів до 36° (рис. 1, в, г).

Досліджено вплив азимуту фронтальної поверхні на вироблення енергії. Відхилення відносно оптимального значення азимуту 177° (ПдЗх) на $\pm 23^\circ$ зменшує вироблення енергії на 1%, а на $\pm 54^\circ$ – на 5% (рис. 2, а). Зміна кута нахилу в діапазоні від 26° до 48° та азимуту поверхні від 154° до 200° забезпечує вироблення енергії, що відрізняється від максимально можливого не більше, ніж на 1%.

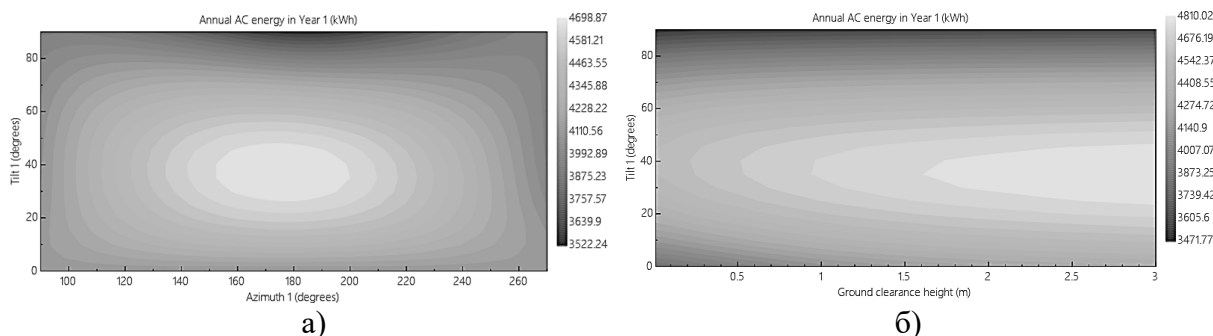


Рисунок 2 – Вироблення енергії фотоелектричною системою в залежності від кута нахилу та азимуту поверхні (а), кута нахилу та висоти встановлення модуля (б)

Збільшення висоти встановлення двосторонніх модулів підвищує опромінення тильної поверхні, а, отже, і вироблення енергії (рис. 2, б). При оптимальному куті нахилу максимальна генерація досягається при відстані нижнього краю модуля від землі більше 1,6 м. При кутах нахилу більше 60° висота встановлення модулів практично не впливає на вироблення енергії.

Моделювання вироблення енергії фотоелектричною системою на основі двосторонніх модулів для кліматичних умов м. Херсон дозволило визначити оптимальний кут нахилу модуля 36° , азимут поверхні 177° , висоту встановлення 1,6 м. При цьому вироблення енергії становить $343,1 \text{ кВт}\cdot\text{год}/(\text{м}^2\cdot\text{рік})$, що на 9% вище, ніж для одностороннього модуля.

Заміна трав'яного покриття на пісок або світлий гравій дозволить підвищити альбедо до 0,3, вироблення енергії – до $357,4 \text{ кВт}\cdot\text{год}/(\text{м}^2\cdot\text{рік})$, вираш від двосторонності – до 12,1%. Найкращим варіантом є застосування фарбованого у білий колір бетону з альбедо 0,7, що дозволяє досягнути річної генерації $407,1 \text{ кВт}\cdot\text{год}/(\text{м}^2\cdot\text{рік})$ та вирашу від двосторонності 22,3%.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Ernst M., Asselineau C.-A., Tillmann P., Jäger K., Becker C. Modelling bifacial irradiance – Step-by-step comparison and validation of view factor and ray tracing models. Applied Energy. 2024. Vol. 369. Pp. 123574. DOI:10.1016/j.apenergy.2024.123574.
2. Brecl K., Bokalič M., Faes A., Topič M. An accurate bifacial PV module energy performance model using a direct-diffuse power rating model. Applied Energy. 2025. Vol. 382. Pp. 125310. DOI: 10.1016/j.apenergy.2025.125310.
3. Leon-Rodriguez N., Sanchez-Juarez A., Ortega-Cruz J., Bulnes C.A.A., Leon-Rodriguez H. Bifacial Solar Modules Under Real Operating Conditions: Insights into Rear Irradiance, Installation Type and Model Accuracy. Eng. 2025. Vol. 6.Pp. 233. DOI: 10.3390/eng6090233.
4. Almarshoud A.F., Abdel-halim M.A., Almasri R.A., Alshwairekh A.M. Experimental Study of Bifacial Photovoltaic Module Performance on a Sunny Day with Varying Backgrounds Using Exergy and Energy Analysis. Energies. 2024. Vol. 17. Pp. 5456. DOI: 10.3390/en17215456.

ОЦІНКА РІЧНОГО ОБСЯГУ ГЕНЕРАЦІЇ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ ВІТРОУСТАНОВКАМИ

Розвиток розподіленої генерації є нагальною потребою для забезпечення стабільності енергетичної системи України в умовах цілеспрямованих атак з боку ворога. Так, в Енергетичній стратегії України на період до 2050 року, схваленій Кабінетом Міністрів 21 квітня 2023 р., об'єктам розподіленої генерації, зокрема й на відновлюваних джерелах енергії, відводиться значна роль [1].

У відповідності до результатів досліджень, проведених фахівцями Інституту відновлюваної енергетики НАН України, територія нашої держави має достатній природний потенціал для розвитку вітроенергетики і за середньорічною швидкістю вітру поділена на чотири зони [2]. Згідно з цим поділом північні регіони України, як-то Київська, Житомирська, Чернігівська області, відносяться до зони з середньорічними швидкостями вітру v_{cp} менше 4,5 м/с, центральні області та частина територій східних та південних областей – до зони з $v_{cp} = 4,5$ м/с, узбережжя Чорного та Азовського морів знаходяться в зоні, що характеризується середньорічною швидкістю вітру $v_{cp} = 5$ м/с, а для гірських районів Криму і Карпат $v_{cp} > 5$ м/с. Втім, поділ на такі зони є доволі умовним і кожна зона містить райони з аномальними швидкостями вітру, у зв'язку з чим при оцінці очікуваного обсягу генерованої вітроелектричною установкою (ВЕУ) або станцією енергії варто орієнтуватись на локальні вітрові умови, головною характеристикою яких є середньорічна швидкість вітру в тій місцевості, де планується спорудження ВЕУ.

Метою даної роботи є отримання виразу для оцінки річного обсягу генерованої ВЕУ енергії в залежності від середньорічної швидкості вітру.

Згідно [3] потужність вітрового потоку N пов'язана зі швидкістю вітру v наступною кубічною залежністю:

$$N = 0,5\rho v^3 F, \quad (1)$$

де $\rho = 1,25$ кг/м³ - густина повітря при нормальних атмосферних умовах; F – площа обмаху вітродвигуна ВЕУ, через яку проходить вітровий потік.

Не вся потужність вітрового потоку здатна бути перетворена ВЕУ у корисну енергію, що враховується введенням коефіцієнта використання енергії вітру (коефіцієнта потужності) C_p , який показує долю енергії вітрового потоку, що може бути відібраною даною установкою. Для вітроустановок, що працюють на силі лобового тиску, C_p не перевищує 0,1. Сучасні ж ВЕУ в переважній своїй більшості приводяться в дію аеродинамічною підйомною силою, що виникає на лопатевому апараті вітроколеса при набіганні повітряного потоку. Для таких ВЕУ коефіцієнт використання енергії вітру значно вищий і становить від 0,3 до 0,5 в залежності від особливостей конструкції вітродвигуна та його розташування в повітряному потоці. У зв'язку з цим, корисна потужність, яка може бути відібрана від повітряного потоку, що набігає на вітроколесо ВЕУ зі швидкістю v , становитиме:

$$N_{ВЕУ} = 0,5C_p\rho v^3 F. \quad (2)$$

Оскільки вітер є випадковим енергетичним ресурсом, що здатен раптово змінювати свою швидкість, значно перевищуючи величину v_{cp} , то при оцінці необхідної встановленої

потужності ВЕУ $N_{\text{ВЕУ в}}$ орієнтуються не на середньорічну, а на так звану розрахункову (номінальну) швидкість вітру $v_{\text{н}}$, яка пов'язана з середньорічною наступним виразом [3]:

$$v_{\text{н}} = (1,25 \div 2)v_{\text{ср}} . \quad (3)$$

Приймаючи множник перед $v_{\text{ср}}$ в формулі (3) як середнє значення вказаного діапазону і підставляючи рівняння (3) в (2), отримуємо наступний вираз для встановленої потужності ВЕУ:

$$N_{\text{ВЕУ в}} = 0,5C_{\text{р}}\rho(1,6v_{\text{ср}})^3F = 2,05C_{\text{р}}\rho v_{\text{ср}}^3F . \quad (4)$$

Строгий розрахунок обсягу виробленої електричної енергії ВЕУ має здійснюватися на основі аналізу статистичних даних з урахуванням річної повторюваності вітрів в даному районі. Втім, при оцінках річного обсягу виробленої енергії $E_{\text{рік}}$ варто застосувати спрощений підхід, що полягає в уведенні коефіцієнта використання встановленої потужності $C_{\text{в}}$, який показує відсоток годин у році, протягом яких ВЕУ працює зі встановленою потужністю [3]. Типові значення коефіцієнту $C_{\text{в}}$ для ВЕУ, розташованих на суходолі, становлять близько 0,3. Тоді річний обсяг виробленої електричної енергії може бути оцінений за виразом:

$$E_{\text{рік}} = 2,05C_{\text{в}}C_{\text{р}}\rho v_{\text{ср}}^3F \cdot 8760 , \quad (5)$$

де 8760 – кількість годин у році.

ВЕУ різної встановленої потужності мають вітровадуни з різною площею обмаху, у зв'язку з чим варто проводити оцінку річного обсягу виробленої енергії за питомим показником – з одиниці площі, що омитається вітроводуном, $E_{\text{рік п}}$:

$$E_{\text{рік п}} = E_{\text{рік}} / F = 2,05C_{\text{в}}C_{\text{р}}\rho v_{\text{ср}}^3 \cdot 8760 = 17958C_{\text{в}}C_{\text{р}}\rho v_{\text{ср}}^3 . \quad (6)$$

Підставляючи у вираз (6) типові значення $\rho = 1,25 \text{ кг/м}^3$, $C_{\text{р}} = 0,4$ та $C_{\text{в}} = 0,3$ і переводячи встановлену потужність ВЕУ з Вт в кВт, остаточно отримуємо:

$$E_{\text{рік п}} = 17958 \cdot 0,3 \cdot 0,4 \cdot 1,25 v_{\text{ср}}^3 / 1000 = 2,69v_{\text{ср}}^3 , \text{ кВт}\cdot\text{год/м}^2 . \quad (7)$$

Таким чином, вираз (7) дозволяє оцінити річний обсяг електричної енергії, що генерується з одиниці площі обмаху вітроводуна ВЕУ при її експлуатації в регіоні з середньорічною швидкістю вітру $v_{\text{ср}}$.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Розпорядження Кабінету Міністрів України від 21 квітня 2023 р. №373-р «Про схвалення Енергетичної стратегії України на період до 2050 року». Верховна рада України. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/373-2023-%D1%80#Text> (дата звернення 28.03.26).
2. Атлас енергетичного потенціалу відновлюваних джерел енергії України. За заг. ред. С.О. Кудрі. К.: Інститут відновлюваної енергетики НАН України, 2020. 82 с.
3. Відновлювані джерела енергії: видання друге, доповнене / За заг. ред. С.О. Кудрі. Київ: Інститут відновлюваної енергетики НАНУ, 2024. 492 с.

ОПТИМІЗАЦІЯ ПАРАМЕТРІВ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ МАГІСТРАЛЬНИХ ЛІНІЙ ЕЛЕКТРОПЕРЕДАЧІ ШЛЯХОМ ВПРОВАДЖЕННЯ ДВОЛАНЦЮГОВИХ ОДНОРАДІУСНИХ КОАКСІАЛЬНИХ КОНСТРУКЦІЙ

Необхідність передачі великих потоків потужності на значні відстані призвела до створення повітряних ліній (ПЛ) надвисокої напруги. До недоліків таких ліній відносяться значні втрати електроенергії на корону та негативний вплив на людину та навколишнє середовище. Традиційні ПЛ 500 кВ потребують величезних територій для відчуження під санітарно-захисні зони (СЗЗ), які можуть сягати 40–60 метрів від осі лінії. В умовах щільної забудови або цінних сільськогосподарських угідь будівництво нових магістральних ліній стає економічно обтяжливим.

Новий тип компактних ПЛ змінного струму – дволанцюгові коаксіальні максимально скомпенсовані високовольтні повітряні лінії передачі (ДКПЛ) – вільні від перерахованих недоліків. В основу цих ліній покладений принцип максимальної компенсації як електричних так і магнітних полів. Досягти різкого зменшення напруженості електричного і магнітного полів під ПЛ дозволяє коаксіальне розташування однойменних фаз різних ланцюгів ПЛ [1,2].

Актуальність теми зумовлена необхідністю технологічної модернізації магістральних електричних мереж України для підвищення їхньої пропускної здатності до рівня 3,2–5,2 ГВт та мінімізації питомих втрат енергії, що досягається шляхом впровадження інноваційних дволанцюгових однорадіусних коаксіальних конструкцій (ДОРПЛ). Застосування такої геометрії фаз дозволяє реалізувати ефект самокомпенсації електромагнітного поля, що забезпечує радикальне (у 2–3 рази) звуження санітарно-захисних зон, вирішуючи гостру проблему дефіциту земельних ресурсів та гарантуючи екологічну безпеку населення згідно з сучасними міжнародними стандартами електромагнітної сумісності.

Метою роботи є теоретичне обґрунтування та математичне моделювання нової конфігурації фазних зон високовольтних ліній електропередачі 500 кВ. Основним завданням є порівняльний аналіз традиційних синфазних дволанцюгових ліній та коаксіальних протифазних систем типу «ромб» для мінімізації рівнів електричного та магнітного полів у приземному шарі.

Основна ідея полягає у переході від плоскої або трикутної підвіски проводів до компактно коаксіальної структури ПЛ. Використання геометрії «ромб», де однойменні фази різних ланцюгів розташовані у протилежних вершинах, дозволяє максимально наблизити вектори напруженості полів від струмів протилежних напрямків. Це створює ефект самокомпенсації електромагнітного поля. Завдяки тому, що ланцюги знаходяться у протифазі (зсув на 180°), сумарний потік енергії спрямовується вздовж лінії, а розсіювання електромагнітного поля у навколишнє середовище радикально зменшується порівняно з паралельними ланцюгами [2,3].

Дволанцюгова однорадіусна коаксіальна повітряна лінія моделюється як 12 проводів, де два проводи кожної фази першого ланцюга (A_1, B_1, C_1) і два проводи кожної фази другого ланцюга (A_2, B_2, C_2) знаходяться у протилежних вершинах ромбу (рис.1). Щоб ДОРПЛ працювала як коаксіальна система, вектори полів від першого та другого ланцюгів мають бути спрямовані зустрічно. Тобто, якщо у фазі A_1 струм має кут 0° , то у фазі A_2 він має бути 180° . Оскільки однойменні фази розташовані близько, їхні вектори напруженості на великій відстані практично накладаються і віднімаються. Завдяки коаксіальному ефекту поле швидше згасає при віддаленні від осі лінії.

Для ліній надвисокої напруги (500 кВ) з великою пропускною здатністю використовується розщеплення фаз. Було прийнято, що кожен фазний провід має розщеплення на $n=3$ сталевалюмінієвих провідника, розташованих у вершинах рівностороннього трикутника

(вставка на рис.1). Таким чином, для ДОРПЛ загальна кількість провідників становить 36, що забезпечує більший сумарний переріз та нижчий хвильовий опір. Еквівалентний переріз фазного проводу дорівнює $330/43 \text{ мм}^2$, радіус розщепленої фази r_{eq} обчислюється як [4]:

$$r_{eq} = \sqrt[n]{nr_0 a^{n-1}}, \quad (1)$$

де r_0 – радіус одиночного провідника, a – крок розщеплення (відстань між провідниками розщеплення у фазі).

Вихідні параметри досліджуваної ДОРПЛ наведено у табл.1.

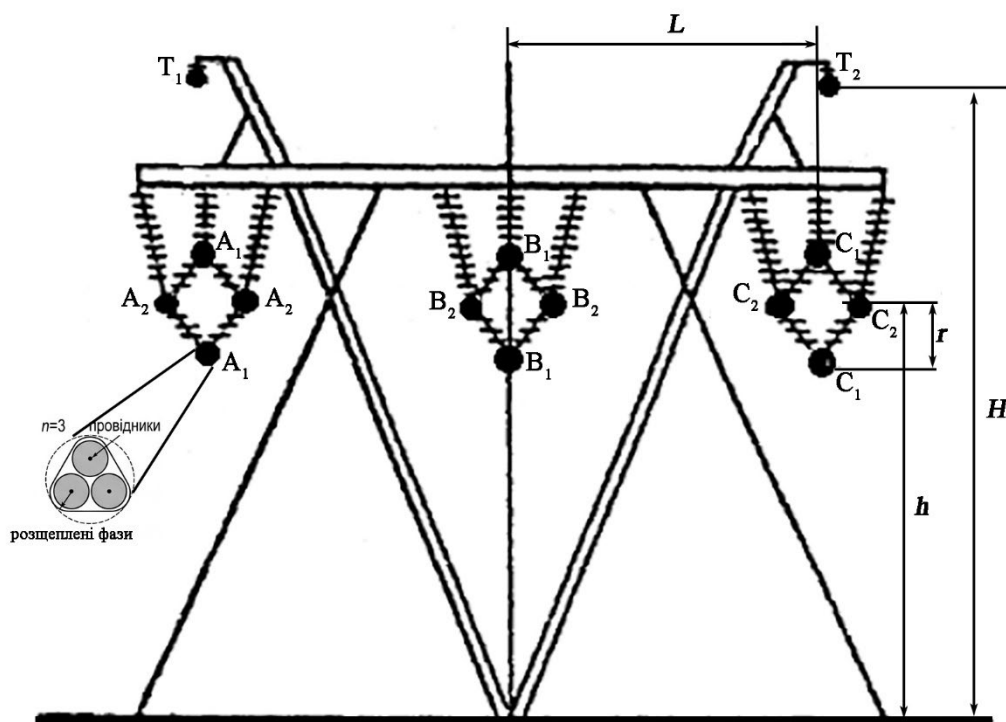


Рисунок 1 – Геометричне розташування проводів ДОРПЛ 500 кВ з двома проводами у фазі, $P_H = 3,2 \text{ ГВт}$ (на вставці показано, що кожен провід лінії має розщеплення на $n=3$ близько розташованих провідника)

Таблиця 1 – Параметри досліджуваної дволанцюгової однорадіусної коаксимальної повітряної лінії

Параметр	Значення
Номінальна напруга ПЛ, U_{nom}	500 кВ
Активна потужність, P_H	3,2 ГВт
Коефіцієнт потужності, $\cos \varphi$	0,95
Кількість проводів у фазі	2
Кількість фаз	3
Відстань між фазами ланцюга 1, L	12,0
Висота над землею фазних проводників ланцюга 2, h	22 м
Діагональ «ромбу», $2r$	3,5 м
Радіус розщеплення фази, r_{eq}	0,15 м
Радіус одиночного провідника, r_0	0,0115 м
Загальна кількість провідників	36
Висота захисного тросу, H	29 м

Для доведення ефективності коаксимальної конфігурації «ромб» використано метод дзеркальних відображень (для врахування впливу земної поверхні) та принцип суперпозиції полів, створюваних кожним із n провідників системи ($n=36$ для дволанцюгової ПЛ з розщепленням).

Першим етапом є визначення вектор-стовпця лінійних зарядів $[\tau]$, що здійснюється шляхом розв'язання системи лінійних алгебраїчних рівнянь через матрицю потенційних коефіцієнтів $[A]$ [4-6]:

$$[U] = [A] \cdot [\tau] \Rightarrow [\tau] = [A]^{-1} \cdot [U], \quad (2)$$

де $[U]$ – вектор комплексних фазних напруг, а елементи матриці $[A]$ визначаються геометричними параметрами ПЛ [4-6]:

$$A_{ii} = \frac{1}{2\pi\epsilon_0} \ln \frac{2h_i}{r_{eq}}; \quad A_{ij} = \frac{1}{2\pi\epsilon_0} \ln \frac{D'_{ij}}{D_{ij}} \quad (3)$$

тут h_i – висота підвісу i -го проводу, D_{ij} – відстань між проводами i та j , D'_{ij} – відстань між проводом i та дзеркальним відображенням проводу j .

Напруженість від одного проводу в точці розрахунку (x_p, y_p) складається з двох компонент (від реального проводу та його відображення) і у проекціях дорівнює:

$$E_x = \frac{\tau}{2\pi\epsilon_0} \left(\frac{x_p - x_i}{(x_p - x_i)^2 + (y_p - y_i)^2} - \frac{x_p - x_i}{(x_p - x_i)^2 + (y_p + y_i)^2} \right); \quad (4)$$

$$E_y = \frac{\tau}{2\pi\epsilon_0} \left(\frac{y_p - y_i}{(x_p - x_i)^2 + (y_p - y_i)^2} - \frac{y_p - y_i}{(x_p - x_i)^2 + (y_p + y_i)^2} \right)$$

Магнітна індукція B створюється струмами, що протікають у провідниках.

$$i = \frac{P_H}{\sqrt{3}U_{nom} \cos \varphi} e^{j\psi} \quad (5)$$

Для кожного проводу в точці (x_p, y_p) маємо:

$$B_x = -\frac{\mu_0 i}{2\pi} \frac{y_p - y_i}{(x_p - x_i)^2 + (y_p - y_i)^2}; \quad (6)$$

$$B_y = \frac{\mu_0 i}{2\pi} \frac{x_p - x_i}{(x_p - x_i)^2 + (y_p - y_i)^2};$$

Для оцінки можливості виникнення корони навколо проводів ПЛ проведено порівняння фактичної напруженості на поверхні проводу з критичною, яка визначається за емпіричною формулою Піка [4]:

$$E_{crit} = 30,3m\delta \left(1 + \frac{0,299}{\sqrt{100r_0}} \right), \left(\frac{\text{кВ}}{\text{см}} \right) \quad (7)$$

де $m=0,82$ – коефіцієнт шорсткості для сталелеюмінію, δ – відносна густина повітря.

Для розщепленої фази (пучка проводів) напруженість на поверхні одного проводу в пучку вища за середню через нерівномірність поля і визначається за формулою [4]:

$$E_{max} = \frac{\tau}{2\pi\epsilon_0 r_0} \left[1 + (n - 1) \frac{r_0}{r_{eq}} \right] \quad (8)$$

Для надійної роботи ПЛ без надлишкових втрат та радіоперешкод повинна виконуватися умова:

$$E_{max} \leq 0,9E_{crit} \quad (9)$$

Санітарна зона визначається як мінімальна відстань X від осі лінії, починаючи з якої виконуються умови:

- напруженість електричного поля $E \leq 0,5$ кВ/м;
- магнітна індукція $B \leq 5$ мкТл.

Для порівняння ефекту зниження електромагнітної сигнатури моделювання проводилося для ДОРПЛ (протифазне вмикання ланцюгів) і синфазного вмикання ланцюгів. Результати моделювання розподілу електричного і магнітного полів на висоті 1,8 м над землею наведено на рис.2, числові розрахунки – у табл.2.

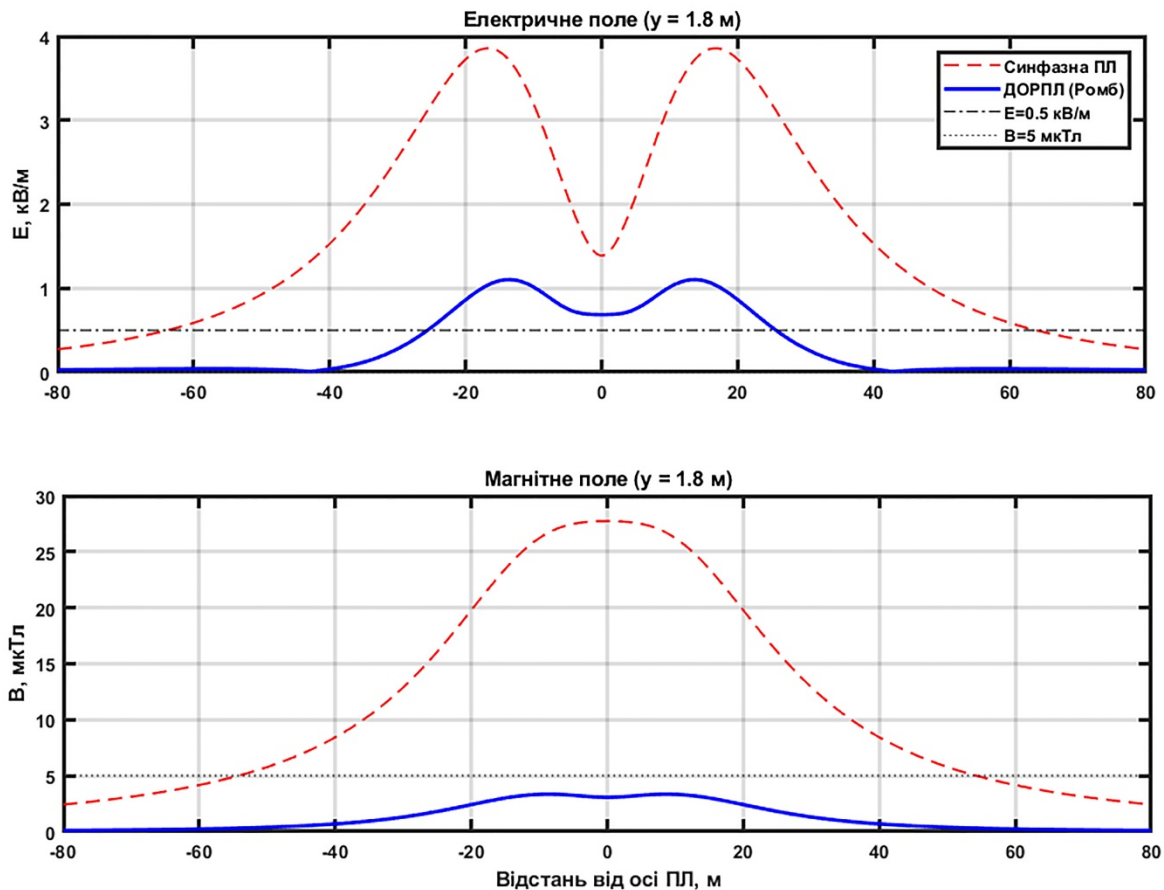


Рисунок 2 – Просторовий розподіл електричного і магнітного полів на висоті 1,8 м над землею для ДОРПЛ і синфазної ПЛ такої самої геометрії (горизонтальними пунктирними лініями показано критичні для біологічної безпеки значення електричного і магнітного полів)

Отримані результати довели, що використання коаксіального ефекту самокомпенсації дозволяє суттєво (у 2,5 рази) зменшити максимальну напруженість електричного поля та радикально (у 8 разів) знизити рівень магнітної індукції в приземному шарі. Визначено параметри санітарно-захисних зон та оцінено умови виникнення коронного розряду на проводах розщепленої фази.

Таблиця 2 – Розраховані значення критичних характеристик досліджуваних ПЛ

Характеристика	Режим ДОРПЛ (протифазний)	Режим синфазний
E_{\max} на висоті 1,8 м, кВ/м	1,10	3,86
E_{\max} на поверхні провідника, кВ/м	2788,06	1716,09
E_{crit} , кВ/м	3177,35	3177,35
E_{\max}/E_{crit} , стан корони	0,877 можлива місцева корона	0,540 корона неможлива
B_{\max} на висоті 1,8 м, мкТл	3,35	27,74
СЗЗ за електричним полем, м	25,6	63,8
СЗЗ за магнітним полем, м	0,0	54,2

Застосування ДОРПЛ дозволяє звзунти санітарно-захисну зону за електричним полем з 63,8 м до 25,6 м, а за магнітним полем – фактично нівелювати її (0 м, оскільки рівень індукції скрізь нижчий за граничний). Це вирішує проблему дефіциту територій в умовах щільної забудови.

Впровадження коаксіальної геометрії «ромб» забезпечує значне зниження рівнів електромагнітного забруднення. Максимальне значення магнітної індукції під лінією зменшується з 27,74 мкТл (у синфазному режимі) до 3,35 мкТл, що повністю відповідає міжнародним стандартам безпеки навіть безпосередньо під проводами.

Хоча коаксіальна конструкція призводить до підвищення напруженості електричного поля на поверхні провідників, це значення залишається в межах допустимого для запобігання інтенсивній загальній короні, хоча й потребує ретельного вибору радіуса розщеплення фаз для уникнення місцевих розрядів.

Використання розщеплення фази на три провідники забезпечує високу пропускну здатність лінії на рівні 3,2 ГВт, що робить ДОРПЛ перспективним рішенням для технологічної модернізації магістральних мереж України.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Moura, R.A., Assis, F.A., Schroeder, M.A., Resende, L.C., & Afonso, M.M. Optimization of Overhead Transmission Lines Power Transfer Capability with Minimizing Electric and Magnetic Fields. Journal of Control, Automation and Electrical Systems, 2021, 33, 574 - 587. DOI:10.1007/s40313-021-00794-x
2. R. Conti, A. Giorgi, R. Rendina, L. Sartore and E. A. Sena, Technical solutions to reduce 50 Hz magnetic fields from power lines, 2003 IEEE Bologna Power Tech Conference Proceedings, Bologna, Italy, 2003, pp. 6 Vol.2 DOI: 10.1109/PTC.2003.1304685
3. Бондаренко В.О., Черкашина В.В. Конструкції ліній електропередачі: навчальний посібник. Харків: «Факт», 2020. 174 с.
4. Василець С.В., Василець К.С. Техніка високих напруг: навчальний посібник. Рівне: НУВГП, 2018. 187 с.
5. Гейер Д.В., Жук Д.В., Степанчиков Д.М. Моделювання електричного поля трифазної симетричної повітряної лінії електропередачі. "Актуальні проблеми сучасної енергетики": зб. тез доп. VIII всеукраїнської науково-практичної інтернет-конференції студентів, аспірантів і молодих вчених (м. Хмельницький, 23 травня, 2024р.). Херсон: Книжкове видавництво ФОП Вишемирський В.С., 2024. С. 25-28.
6. Степанчиков Д.М., Котенко Д.О. Моделювання та дослідження електричного поля несиметричної трифазної повітряної лінії електропередачі. "Сучасна молодь в світі інформаційних технологій": зб. тез доп. VI всеукраїнської науково-практичної інтернет-конференції молодих вчених та здобувачів вищої освіти (м. Херсон-Кропивницький, 16 травня, 2025 р.). Херсон-Кропивницький, Книжкове видавництво ФОП Вишемирський В.С., 2025. С. 162-165.

СУЧАСНА СИСТЕМА АВТОМАТИЧНОЇ СИНХРОНІЗАЦІЇ СУДНОВИХ ГЕНЕРАТОРНИХ АГРЕГАТОРІВ

Сучасне судно є автономним енергетичним комплексом, у якому стабільність та безперервність електропостачання мають критичне значення [1]. Від надійності суднової електростанції залежить робота головного двигуна, систем охолодження, навігаційного обладнання та допоміжних механізмів. На практиці замість одного потужного генератора застосовується кілька суднових дизель-генераторів (ДГ), що працюють паралельно. Такий підхід забезпечує під час роботи: гнучкість керування навантаженням; економію палива; підвищення живучості системи. Однак паралельна робота генераторів можлива лише за умови їх точної синхронізації. Порушення цього процесу може призвести до аварійного режиму, включаючи повне знеструмлення судна (blackout).

Синхронізація — це процес підключення генератора до загальних шин головного розподільчого щита (ГРЩ) за умови повного узгодження його електричних параметрів із параметрами мережі [2, 4]. Якщо генератор підключається без дотримання умов синхронізації, в електроенергетичній системі виникають негативні явища: зрівняльні струми великої величини; електромагнітні удари; спрацювання захистів; можливий blackout судна. Особливо небезпечним є випадок протифазного включення, коли вектори напруг направлені в протилежні сторони. У такому разі струм фактично еквівалентний короткому замиканню.

Для безпечного паралельного підключення необхідне виконання чотирьох ключових умов [3]:

1. Рівність напруг. Напряга генератора U_G повинна дорівнювати напрузі на шинах U_{sh} . При невідповідності виникає реактивний зрівняльний струм, який не виконує корисної роботи, викликає перегрів обмоток і знижує ресурс обладнання. Регулювання здійснюється за допомогою AVR (Automatic Voltage Regulator), який змінює струм збудження.

2. Рівність частот. Частота генератора повинна відповідати частоті мережі (50 або 60 Гц). На практиці частоту генератора, що підключається, встановлюють на 0.1–0.2 Гц вище, ніж у мережі. Це забезпечує миттєвий перехід у режим генерації та уникнення роботи в моторному режимі. Частота регулюється через governor — регулятор обертів дизельного двигуна.

3. Збіг фаз коливання. Фази напруг повинні збігатися за часом. Якщо кут зсуву значний, то виникають ударні струми, а також можливі механічні навантаження на вал. Допустиме відхилення фаз приблизно на 5–10 градусів.

4. Однаковий порядок чергування фаз. Послідовність фаз (А-В-С) має бути однаковою. Невиконання цієї умови призводить до неправильного обертання двигунів та аварійних режимів. Перевірка виконується під час монтажу та після ремонту генератора.

Процес підготовки генератора для введення в паралельний режим, відбувається під час синхронізації. На сучасних суднах процес синхронізації повністю автоматизований та інтегрований у систему керування електростанцією Power Management System (PMS) [6]. Найбільш поширені рішення: DEIF (серії Delomatic, AGC); ABB (системи SELMA); Terasaki. Принцип роботи автоматичної системи: аналіз навантаження мережі; автоматичний запуск резервного генератора; вихід на номінальні оберти; підгонка частоти та напруги; контроль кута фаз; замикання автоматичного вимикача у потрібний момент. Таким чином, людський фактор практично виключений.

У сучасному судноплаванні спостерігається активний перехід до більш ефективних, екологічних та інтелектуальних електроенергетичних систем [7]. Одним із ключових напрямків розвитку є інтеграція традиційних дизель-генераторів із системами накопичення

енергії Energy Storage Systems (ESS), як показано рис 1. Структура системи управління представлена на рис. 2.

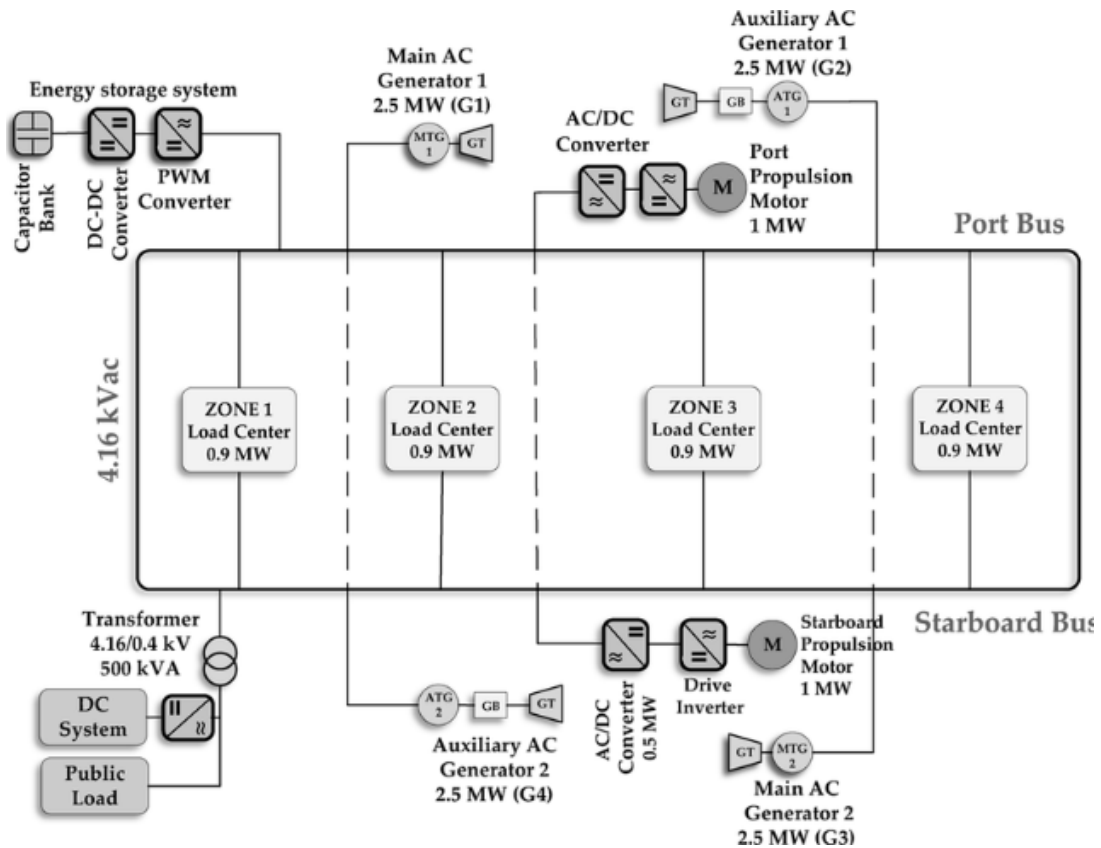


Рисунок 1 – Сучасна суднова електроенергетична система з ESS

Інтеграція ESS передбачає використання потужних літій-іонних акумуляторних батарей, які підключаються до суднової мережі через інверторні перетворювачі. На відміну від класичних генераторів, які є обертовими електромеханічними машинами, батарейні системи є статичними джерелами енергії, що формують напругу за допомогою силової електроніки. Це створює нові вимоги до процесу синхронізації, оскільки необхідно узгоджувати параметри не лише між генераторами, а й між генератором та інвертором, який формує практично ідеальну синусоїду напруги. В сучасні системи управління судновою електроенергетикою впроваджуються алгоритми оптимізації навантаження, такі як peak shaving (зрізання пікових навантажень) [8]. У випадку раптового підключення потужного споживача (наприклад, насосів, компресорів або підрулювальних пристроїв), навантаження на генератор різко зростає, що може призвести до просідання частоти та напруги. У традиційних системах для компенсації такого стрибка необхідно запускати додатковий дизель-генератор, що потребує часу.

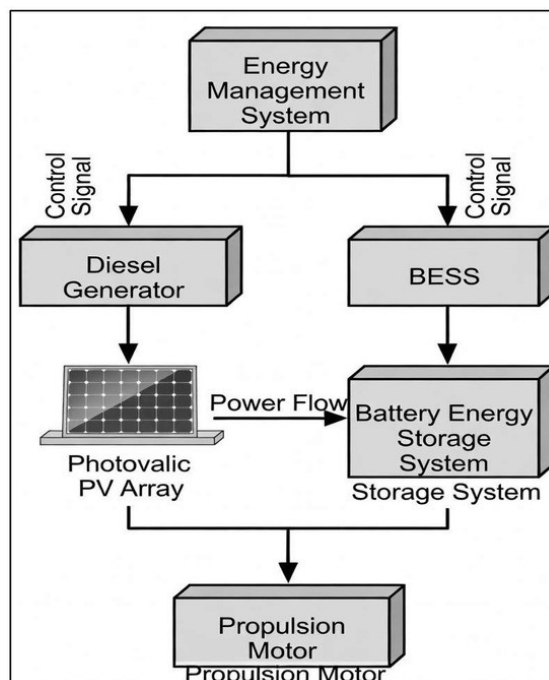


Рисунок 2 – Система управління гібридною судною енергосистемою з використанням ESS (генератор + батарея ESS)

У гібридній системі ESS миттєво реагує на зміну навантаження і віддає накопичену енергію в мережу, стабілізуючи параметри електроенергії (рис. 3). Це дозволяє уникнути різких коливань частоти, зменшити механічне навантаження на дизель та виграти час для автоматичного запуску додаткового генератора. Крім того, використання акумуляторів дозволяє працювати дизель-генераторам у більш оптимальних режимах навантаження (зазвичай 70–80% від номінальної потужності), що значно підвищує їхню паливну ефективність і зменшує знос. У періоди низького споживання енергії частина генераторів може бути вимкнена, а навантаження компенсується за рахунок батарей. Ще одним важливим аспектом є зниження шкідливих викидів. Завдяки зменшенню кількості працюючих дизелів і оптимізації їх режимів досягається скорочення викидів CO₂, NO_x та інших забруднюючих речовин, що відповідає сучасним міжнародним екологічним вимогам.

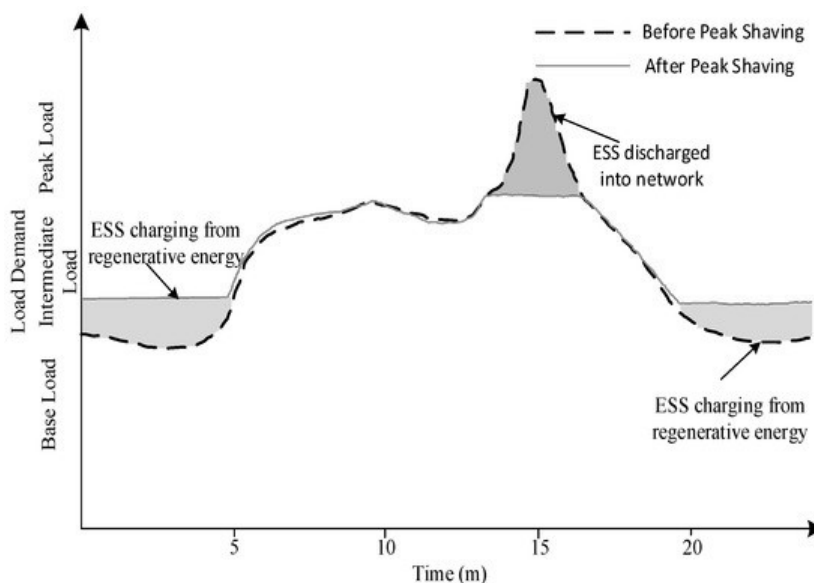


Рисунок 3 – Робота режиму peak shaving

Висновок. Синхронізація суднових дизель-генераторів є одним із ключових процесів функціонування суднової електроенергетичної системи, від якого безпосередньо залежить безпека, надійність та ефективність роботи всього судна [5]. Правильне узгодження напруги, частоти, фазового кута та порядку чергування фаз забезпечує безаварійне підключення генераторів до загальної мережі та виключає виникнення небезпечних режимів, таких як зрівняльні струми або короткі замикання. Проведений розгляд показує, що навіть незначні відхилення параметрів під час синхронізації можуть призвести до серйозних наслідків, включаючи спрацювання захистів, пошкодження обладнання та повне знеструмлення судна (blackout). Це підкреслює критичну важливість точності та швидкодії систем синхронізації, особливо в умовах змінного навантаження та експлуатації в морі. Аналіз сучасних технічних рішень свідчить, що впровадження автоматизованих систем керування електростанцією (PMS) дозволило практично повністю усунути вплив людського фактора на процес синхронізації. Використання мікропроцесорних контролерів забезпечує високу точність узгодження параметрів, автоматичний розподіл навантаження та оптимізацію роботи генераторів у реальному часі. Сучасні електроенергетичні системи характеризуються впровадженням систем накопичення енергії (ESS) та алгоритмів peak shaving, що дозволяє не лише підвищити стабільність електроенергетичної системи, але й суттєво покращити паливну економічність та знизити рівень шкідливих викидів. Водночас це ускладнює процес синхронізації, оскільки вимагає узгодження параметрів між джерелами різної фізичної природи — обертовими генераторами та статичними інверторними системами.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Поливода В. В. Суднові автоматизовані електроенергетичні системи: від теорії до практики. Навчальний посібник / В. В. Поливода. – Херсон: ХДМА, 2026. – 228 с. ISBN 978-966-2245-89-9
2. Marine Electrical Equipment and Practice / H.D. McGeorge. – Oxford: Butterworth-Heinemann, 1993.
3. Introduction to Marine Engineering / D.A. Taylor. – Oxford: Butterworth-Heinemann, 1996.
4. Shipboard Electrical Power Systems / J.C. Das. – New York: McGraw-Hill, 2017.
5. International Maritime Organization (IMO). – International Convention for the Safety of Life at Sea (SOLAS).
6. Power Management System. https://en.wikipedia.org/wiki/Power_management_system.
7. Peak Shaving in ship power systems. https://en.wikipedia.org/wiki/Load_management.
8. Energy Storage Systems. <https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/energy-storage-system>.

СЕКЦІЯ
«СУЧАСНІ ТЕХНОЛОГІЇ
ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ
І БЕЗПЕКИ В ТРАНСПОРТНІЙ ГАЛУЗІ»

ІНТЕГРАЦІЯ ПЛАТИ ПЕРЕДПІДСИЛЮВАЧА У ПРИЙМАЛЬНИЙ МОДУЛЬ ДАТЧИКА РТД-С

Безпека маневрової роботи на залізничному транспорті значною мірою залежить від надійності засобів автоматичного контролю зайнятості стрілочних ділянок. Радіотехнічний датчик захисту від переведення стрілок під вагонами РТД-С базового виконання встановлюється на сортувальних гірках для запобігання несанкціонованому переведенню стрілок під час руху рухомого складу. Пристрій має двоканальну структуру побудови, що включає передавальний та два приймальні модулі, які монтуються на різній висоті для фіксації всіх типів вагонів (рисунок 1). Проте тривалий час експлуатації датчиків на сортувальних гірках виявляє проблему деградації завадостійкості приймального тракту через старіння ліній зв'язку та вплив потужних промислових полів[4]. Для цього у роботі обґрунтовано доцільність інтеграції локальної плати передпідсилювача безпосередньо в корпус антени, що дозволяє вирішити проблему детектування слабких сигналів та значно підвищити завадостійкість системи.



Рисунок 1 – Зовнішній вигляд комплекту модулів РТД-С

В оригінальній схемі приймального модуля[3], (рисунок 2) огинаюча модульованого сигналу 60 кГц на детекторному НВЧ-діоді має вкрай низьку амплітуду ~ 10 мВ. Ситуація ускладнюється тим, що сам детекторний діод не є ідеально стабільним джерелом, а його ефективність залежить від температурних коливань навколишнього середовища. Більше того, значний дестабілізуючий вплив чинить сам передавальний модуль, що є первинним джерелом зондуючого НВЧ-випромінювання. Генерація коливань у ньому здійснюється лавинно-

пролітним діодом (ЛПД), який є вкрай критичним до найменших змін струму та кидків напруги живлення. Оскільки 100%-ва амплітудна модуляція в передавачі досягається шляхом періодичного примусового «зриву» генерації ЛПД, через транзисторне шунтування струмозадавального каскаду, старіння з часом або температурний дрейф елементів стабілізатора неминуче призводить до флуктуацій випромінюваного сигналу.

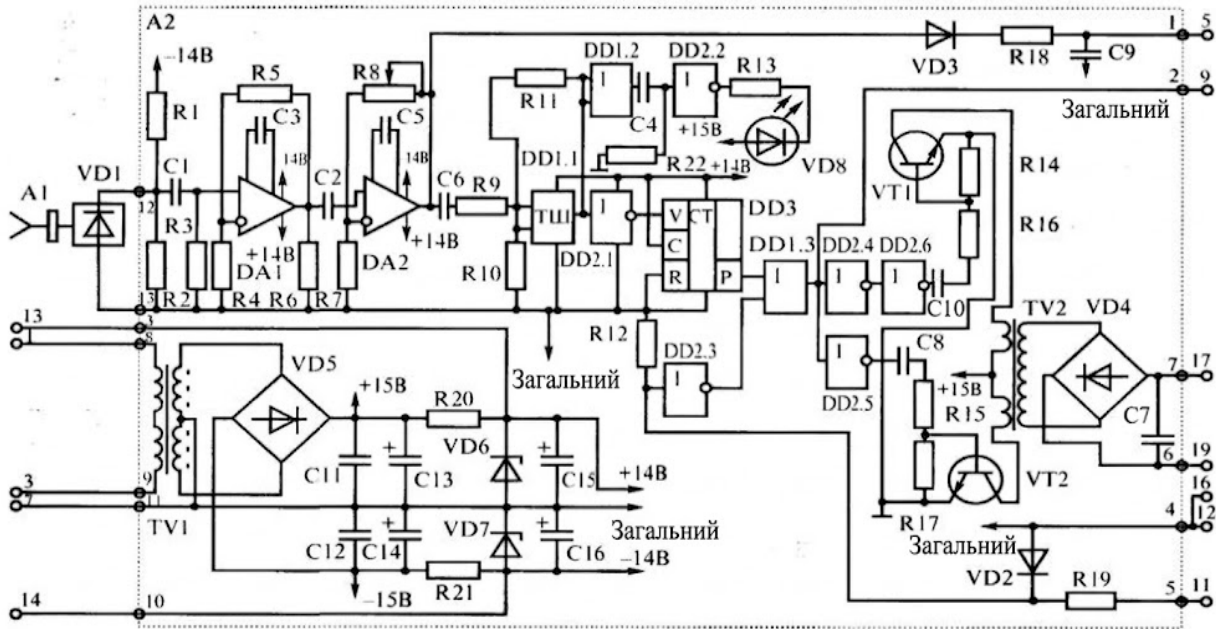


Рисунок 2 – Принципова схема приймального модуля датчика РТД-С

Слід окремо зазначити, що амплітуда корисного сигналу на детекторі прямо пропорційна потужності, що генерується передавачем. За паспортними даними датчика РТД-С [1, 2], номінальна вихідна потужність передавача становить від 1,5 мВт до 6 мВт. Для наочного порівняння масштабів енергетичних показників, типова побутова мікрохвильова піч, що працює в суміжному НВЧ-діапазоні, випромінює потужність близько 800 Вт. Отже, потужність зонduючого сигналу РТД-С є у понад сто тисяч разів меншою, що само по собі є вкрай малою величиною але й безпечною для людини. Враховуючи фактори експлуатації, реальна випромінювана потужність може падати навіть нижче порогових 1,5 мВт. Це робить і без того низьку амплітуду прийнятого відбитого сигналу ще меншою, що критично ускладнює його подальше виділення та підсилення.

У результаті, цей слабкий та мінливий сигнал подається на основну плату обробки довгим кабелем, який в умовах сортувальної гірки працює як ефективна антена для електромагнітного шуму. Виникнення завад пояснюється тим, що з'єднувальний провідник має власну паразитну індуктивність та ємність. Під впливом інтенсивних полів на ньому індукується електрорушійна сила (ЕРС) завади. Оскільки наступний каскад, побудований на операційних підсилювачах, має високий вхідний опір, ці наведені струми не шунтуються і перетворюються на напругу шумів, яка за амплітудою стає співмірною з корисним сигналом, критично погіршуючи співвідношення сигнал/шум.

Для вирішення цих проблем доцільно встановити плату попереднього передпідсилення безпосередньо біля детектора, та провести дослідження її роботи в програмному середовищі NI Multisim [5]. Ця схема дозволить суттєво підняти амплітуду корисного сигналу до його потрапляння на основну плату (рисунок 3). Схемотехнічне рішення базується на транзисторах BC807, увімкнених за каскадною топологією ОБ-ОК. Важливою особливістю є те, що необхідне пряме зміщення НВЧ-діода тепер забезпечується постійним струмом спокою вхідного каскаду. Це дозволило відмовитися від зовнішніх резистивних дільників, які були

джерелом додаткового теплового шуму. Каскад зі спільною базою забезпечує низький вхідний опір для ефективного знімання сигналу, а емітерний повторювач гарантує потужну буферизацію для роботи на ємність кабелю.

Стабільність робочих точок підсилювальних елементів забезпечується локальним параметричним стабілізатором на транзисторі Q6 (2N3906) та стабілітроні VD5.

Живлення схеми забезпечується від стабілізатора напруги на транзисторі 2N3906 та стабілітроні BZX55C8V2. Розрахунковий коефіцієнт підсилення напруги становить:

$$K_u = \frac{U_{\text{вух}}}{U_{\text{вх}}} \approx 27$$

Для обґрунтування вищезазначеного було створено схему в програмному середовищі NI Multisim та проведено дослідження її роботи. Як вище зазначалось схема складається з:

- генератора функцій (XFG1), який імітує корисний сигнал модулюючої частоти 60 кГц з базовою амплітудою 10 мВ, що надходить від рупорної антени (WA1);
- детекторного НВЧ-діода Шоттки (D6 типу BAT15-03W);
- вхідного підсилювального каскаду за схемою зі спільною базою на високочастотному транзисторі Q3 (BC807-40LT1G);
- вихідного буферного каскаду (емітерного повторювача) на транзисторі Q4 (BC807-40LT1G);
- локального параметричного стабілізатора напруги на транзисторі Q6 (2N3906) та прецизійному стабілітроні VD5 (BZX55C8V2), який отримує живлення від джерела -12 В (VDC3).

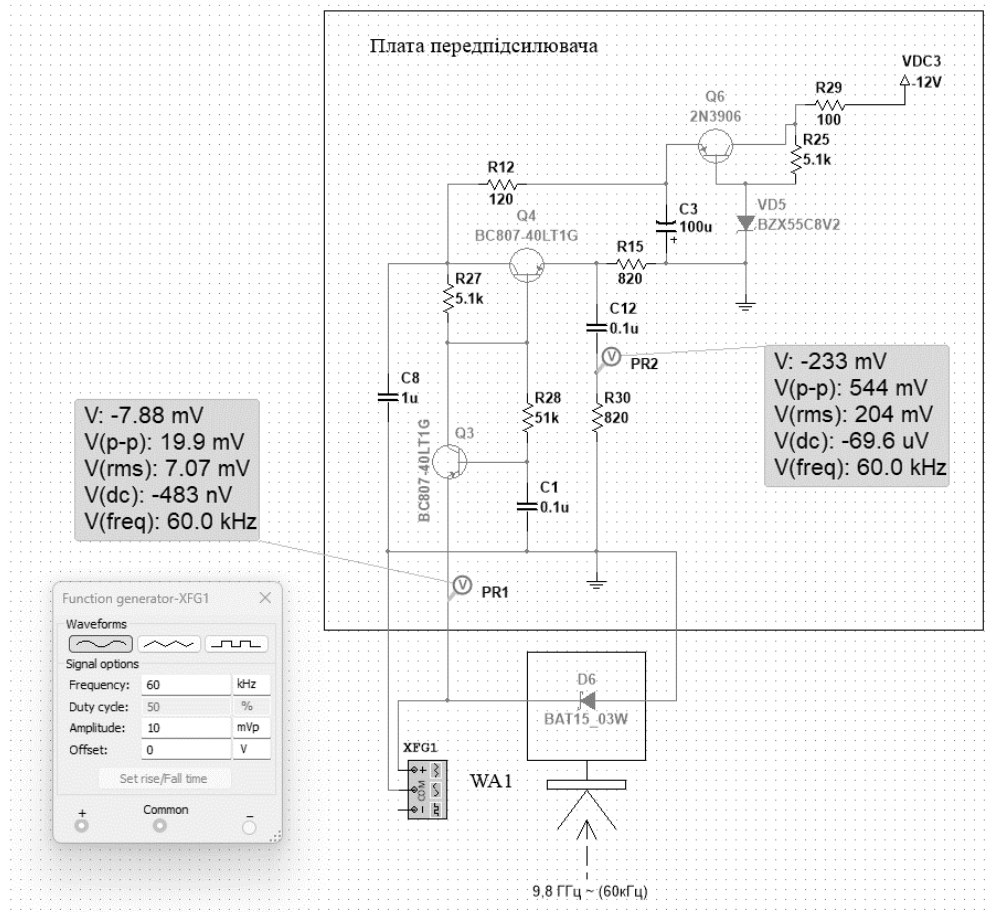


Рисунок 3 – Принципова схема плати передпідсилювача в програмному середовищі NI Multisim

В ході моделювання було встановлено, що інтеграція розробленої плати передпідсилювача забезпечує стабільне та високоякісне підсилення корисного сигналу частотою 60 кГц. При імітації вхідного сигналу від НВЧ-детектора з амплітудою 10 мВ, що видно по розмаху 20 мВ на пробнику PR1, на виході буферного каскаду зафіксовано розмах напруги на рівні 545 мВ. Це підтверджує, що реальний коефіцієнт підсилення розробленої схеми становить:

$$K_u = \frac{545 \text{ мВ}}{20 \text{ мВ}} \approx 27,25 \quad (1)$$

Такий показник підсилення у понад 27 разів дозволяє гарантовано вивести корисний аналоговий сигнал із зони шумів для подальшого оброблення в основній схемі.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Датчики радіотехнічні контролю вільності стрілочних ділянок РТДС-У. Настанова щодо експлуатування. УТС 395.00.00.00 РЕ. ТОВ НКП «Укртрансигнал», 2021. 20 с.
2. Датчик радіотехнічний контролю вільності стрілочних ділянок РТДС5-У. Паспорт. УТС 395.00.00.00-04 ПС. ТОВ НКП «Укртрансигнал», 2021. 12 с.
3. Модуль приймальний ПРМ. Схема електрична принципова. УТС 394.00.00.00ЕЗ. ТОВ НКП «Укртрансигнал», 2021. 4 с.
4. Федорчук О. Г., Кирик В. В. Надійність електронних засобів залізничної автоматики: навч. посіб. Київ: ДУІТ, 2021. С. 84–92. URL: <https://ela.kpi.ua/server/api/core/bitstreams/6d227121-632e-47d7-91bd-be668074f6d3/content> (дата звернення: 08.04.2026).
5. NI Multisim Help. National Instruments Corporation. 2026. URL: <https://www.ni.com/docs/en-US/bundle/multisim/page/topics/multisim-help.html> (дата звернення: 08.04.2026).

ПЕРСПЕКТИВИ ЗАСТОСУВАННЯ ІОННИХ ДВИГУНІВ

Однією з проблем польотів в космосі є величезні витрати палива. Це виходить з малої ефективності хімічних двигунів, що можуть випускати гази лише з обмеженою швидкістю 5 км/с. Іонний двигун покликаний вирішити цю проблему, швидкість його викидів знаходиться в діапазоні від 15 до 35 км/с. Завдяки цьому можна значно знизити витрати палива, а отже, й кількість палива, що необхідно тримати на борту, що в свою чергу знижує вартість корисної маси, що несе ракета [1]. Також однією з переваг іонних двигунів є їх екологічність в порівнянні із класичними хімічними двигунами.

Принцип роботи іонного двигуна полягає в випуску іонізованих частинок для отримання тяги. Для цього використовують інертний газ, наприклад ксенон або аргон, який розганяється за допомогою електричного поля. Газ між двома електродами (сітка та екран) під великою напругою іонізується завдяки ефекту Біфельда-Брауна, створюючи так званий «іонний вітер». Цей ефект може працювати в умовах атмосфери Землі, без використання додаткового палива, діючим тілом в такому випадку стає повітря, що іонізується, це дозволяє створювати тягу тільки завдяки електричній енергії [1, 2].

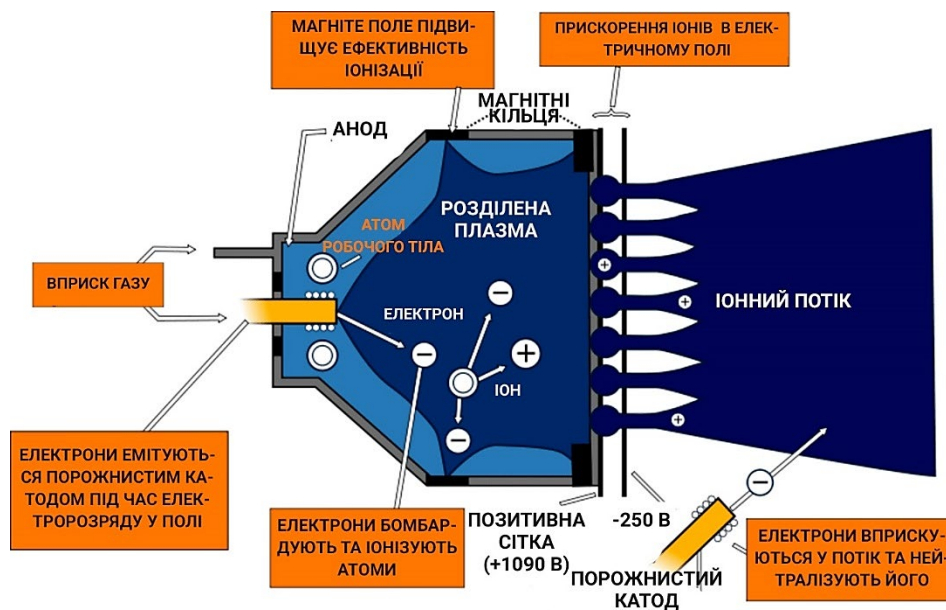


Рисунок 1 – Принцип дії іонного двигуна

Попри зазначені переваги іонні двигуни мають малу тягу, через що не можуть бути використані для запуску ракет на Землі, проте зручні для використання в космосі для далеких перельотів або координації руху супутників. Тяга іонного двигуна може бути описана за формулою [3]:

$$T = -F_{ion} = -0.5\epsilon_0(E_{accel}^2 - E_{screen}^2). \quad (1)$$

де T – сила тяги, Н,
 ϵ_0 – діелектрична проникність вакууму,
 E_{accel} – напруга на сітці,
 E_{screen} – напруга на екрані.

З формули видно що тяга залежить від різниці напруг на електродах, тому при створенні прототипів двигунів один електрод зазвичай робиться з гострих голок, що за своєю природою мають велику напруженість, а інший електрод робиться пологим, наприклад використовуючи металеві трубки. Також при проектуванні потрібно враховувати аеродинамічні властивості електродів, регулюючи заповненість електродів. Для досягнення максимальної тяги необхідно значно підвищувати напругу, що призводить до підвищення виділення тепла, а також ризику виводу з ладу суміжної електроніки, через ризик пробою та високої напруженості середовища.

Одним з найуспішніших випадків використання іонних двигунів є зонд «Down» від NASA. Він був запущений наприкінці 2009го року для вивчення астероїду Веста та карликової планети Церес. Протягом польоту зонд зміг набрати швидкість у 11.5км/с, при тому що мав менше ніж пів тони палива. Для досягнення такої швидкості з хімічними двигунами знадобиться використати сотні тон палива [4].

В найпростішому випадку можна досягти проявлення ефекту Біфельда-Брауна використовуючи конструкцію з трубкою та дротом, на який напаяні голки. При подачі великої змінної напруги на електроди можна спостерігати малу тягу, щоб зафіксувати яку, потрібно використовувати ваги з підвищеною точністю. Прототип тестового стенду для іонного двигуна наведений на рисунку 2. Для отримання високої змінної напруги був використаний високовольтний перетворювач, із заявленим перетворенням з 5В DC до 400кВ AC, який фактично видає ~20кВ, чого достатньо для проведення простого експерименту. Верхній електрод зроблений з мідного дроту з голками, а нижній з алюмінієвої трубки. Для заміру тяги використовуються ювелірні терези.



Рисунок 2 – Терези зафіксували тягу 8г (0,079 Н) на тестовому стенді

Іонні двигуни є перспективною технологією, яка проте має значні недоліки та труднощі у реалізації, які ще потрібно подолати, при достатньому розвитку цієї технології, вдасться досягти більш економічних, екологічних та ефективних польотів о космос, та польотів на Землі, що в свою чергу може позитивно вплинути на економіку та екологію.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Ракети поступяться – йде епоха іонних двигунів. SCEINCE UKRAINE. 2015. URL: <https://web.archive.org/web/20150402165718/http://scienceukraine.in.ua/sciblogs/rakety-postupitsia-ide-epokha-ionnykh-dvyhuniv> (дата звернення 03.04.26).
2. Принцип роботи іонного двигуна. Futurum. 2019. URL: <https://web.archive.org/web/20210116152945/https://futurum.today/ionnyi-dvyhun-pryntsyp-roboty-ionnoho-dvyhuna/> (дата звернення 03.04.26).
3. Dan M. Goebel SciTechBook, Chapter 2 Thruster Principles, NASA, 2008. Pp 18-21.
4. Jim Haldenwang, The Human Exploration of Mars. 2005. URL: <http://www.jimhaldenwang.com/mars.htm> (дата звернення 06.04.26).

ВИКОРИСТАННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ЦИФРОВОГО ДВІЙНИКА ДЛЯ МОДЕЛЮВАННЯ ТЕХНІЧНИХ СИСТЕМ МЕХАТРОНИКИ

У сучасних умовах розвитку промисловості важливим завданням є підвищення ефективності виробничих процесів. Традиційні методи аналізу та оптимізації часто потребують значних ресурсів і не дозволяють швидко адаптуватися до змін. Використання технології цифрового двійника відкриває нові можливості для дослідження та вдосконалення мехатронних систем без втручання у реальне виробництво.

У наукових роботах останніх років значна увага приділяється розвитку цифрових двійників у межах концепції Industry 4.0. Дослідження показують, що застосування імітаційного моделювання дозволяє підвищити ефективність виробництва, оптимізувати використання ресурсів та зменшити простої обладнання. Разом з тим, питання практичного впровадження таких підходів у конкретних системах залишається актуальним.

Метою роботи є створення цифрового двійника виробничої мехатронної системи та аналіз її ефективності з метою виявлення вузьких місць і можливостей оптимізації.

У якості об'єкта дослідження обрано виробничу лінію обробки деталей. Для реалізації цифрового двійника використано середовище Siemens Tecnomatix Plant Simulation (Рис.1).

Модель включає джерело надходження заготовок, обробні станції, транспортні елементи та буферні накопичувачі. У процесі моделювання задавалися параметри часу обробки, інтервали надходження деталей та логіка їх переміщення між елементами системи.

У процесі виконання роботи я використовував дане програмне середовище для створення і дослідження моделі виробничої лінії. Я налаштовував параметри роботи обладнання, аналізував статистику завантаження та простоїв, а також змінював конфігурацію системи для пошуку більш ефективних рішень. Це дозволило мені краще зрозуміти принципи роботи мехатронних систем та отримати практичні навички моделювання.

За результатами моделювання було визначено нерівномірність завантаження обладнання, що свідчить про наявність вузьких місць у системі. Проведений аналіз дозволяє запропонувати шляхи оптимізації виробничого процесу.

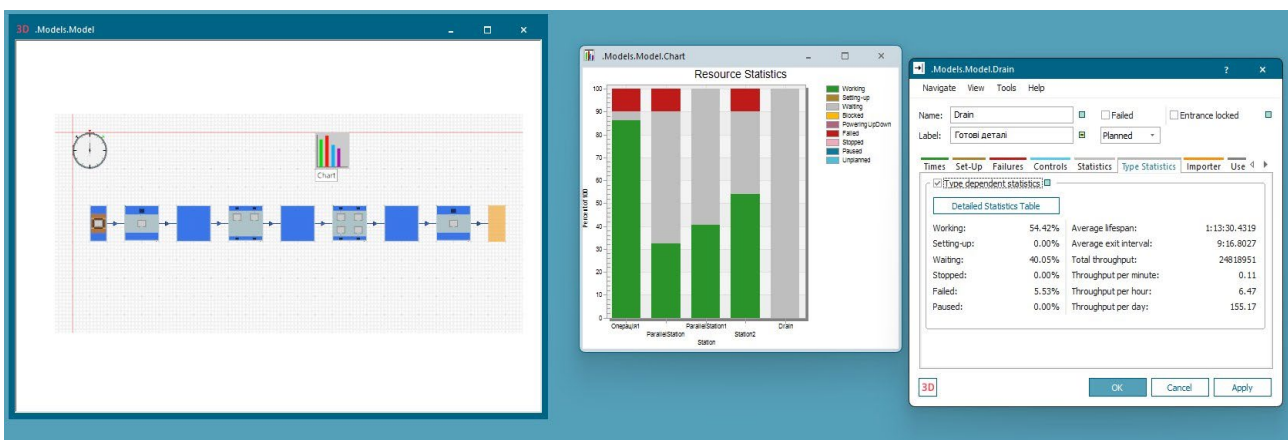


Рисунок 1 – Виробничу лінію обробки деталей

У роботі досліджено можливості застосування технології цифрового двійника для моделювання виробничої мехатронної системи. Створена модель дозволяє аналізувати роботу системи, визначати проблемні ділянки та оцінювати ефективність її функціонування.

Використання цифрового двійника забезпечує підвищення продуктивності, зменшення витрат та покращення якості прийняття інженерних рішень.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Томашевський В. М. Моделювання систем. Київ : Видавнича група ВНУ, 2005. 352 с.
2. Стеценко И. В. Теоретические основы Петри-объектного моделирования систем. Математичні машини і системи. Киев, 2011. № 4. С. 136-148.
3. Stetsenko, I. V., Dorosh V., Dyfuchyn A. Petri-Object Simulation: Software Package and Complexity. *Proceedings of the 8th IEEE International Conference on Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems: Technology and Applications (IDAACS'2015)*. Warsaw, 2015. P. 381-385.
4. Стеценко І. В. Об'єктно-орієнтоване моделювання систем з використанням мереж Петрі. *Вісник Черкаського державного технологічного університету*. Черкаси : ЧДТУ, 2011. № 2. С. 3-9. 87
5. Тимченко А. А. Основи системного проектування та системного аналізу об'єктів. Основи системного підходу та системного аналізу об'єктів нової техніки: навч. посіб. Київ : Либідь, 2004. 288 с.
6. Стеценко І. В. Петрі-об'єктна модель системи управління транспортним рухом. *Вісник НТУУ "КПІ". Інформатика, управління та обчислювальна техніка : Зб. наук. пр.* Київ : ВЕК+, 2011. № 54. С. 116-125.

АДАПТИВНИЙ МЕТОД ВИЯВЛЕННЯ ВІДМОВ СЕНСОРІВ НА ОСНОВІ ВІДСТАНІ МАХАЛАНОБІСА ДЛЯ АВТОНОМНИХ НАЗЕМНИХ ПЛАТФОРМ У СКЛАДНИХ УМОВАХ ЕКСПЛУАТАЦІЇ

Сучасний розвиток автономних транспортних засобів вимагає забезпечення високої надійності систем навігації в умовах невизначеності та можливих відмов сенсорного обладнання [1, 2]. Особливо актуальною ця проблема є для наземних мобільних платформ, що експлуатуються в неструктурованих середовищах, де вплив вібрацій, механічних навантажень та зовнішніх збурень може призводити до деградації даних інерціальних та навігаційних сенсорів [3]. У зв'язку з цим зростає потреба в методах оперативного виявлення аномалій у мультисенсорних системах без значного збільшення обчислювального навантаження.

Особливу складність становить врахування кінематики платформ з поворотом ковзанням (skid-steering), де різниця швидкостей лівих і правих коліс забезпечує зміну курсу без рульового механізму. Така конфігурація призводить до підвищеного ковзання коліс під час маневрів, що може бути хибно інтерпретоване стандартними методами виявлення відмов як деградація сенсорів. Тому адаптація статистичних критеріїв до динамічного стану платформи є критичною для зменшення частоти хибних спрацювань без втрати чутливості до реальних відмов.

Метою роботи є розробка адаптивного методу виявлення відмов сенсорів на основі відстані Махаланобіса, який забезпечить підвищення надійності локалізації автономних наземних платформ у складних умовах експлуатації.

Основні задачі: 1) аналіз існуючих підходів до виявлення відмов у мультисенсорних системах; 2) адаптація статистичного методу відстані Махаланобіса до умов динамічного руху платформи з поворотом ковзанням (skid-steering); 3) експериментальна перевірка запропонованого методу в симуляційному середовищі.

Сучасні системи автономної навігації базуються на інтеграції даних від декількох сенсорів (інерціальні вимірювальні модулі, глобальні навігаційні супутникові системи, лідари) за допомогою фільтрів Калмана або їх модифікацій [4]. Для виявлення відмов застосовують методи перевірки узгодженості вимірювань (гейтування) у фільтрі Калмана, аналізу залишків або машинного навчання [5]. Однак більшість існуючих рішень не враховують специфіку кінематики платформ з поворотом ковзанням, що може призводити до хибних спрацювань під час агресивних маневрів.

Запропоновано модифікацію класичного підходу, що враховує динамічний стан платформи через адаптивне налаштування порогу детекції. Відстань Махаланобіса між вимірюванням z та передбаченням фільтра \hat{y} обчислюється як:

$$D_M = \sqrt{[(z - \hat{y})^T S^{-1} (z - \hat{y})]} \quad (1)$$

де S – коваріаційна матриця інновацій, що відображає невизначеність оцінки стану та шум сенсорів.

Важливо зазначити, що коваріаційна матриця інновацій S обчислюється онлайн на основі поточних оцінок стану фільтра, що забезпечує автоматичне масштабування чутливості детектора до рівня невизначеності системи. Це дозволяє уникнути ручного підбору порогів для різних режимів руху (прямолінійний рух, повороти, зупинки) та забезпечує стабільну роботу методу в широкому діапазоні швидкостей та маневрів.

Адаптивний поріг h_{eff} формується з урахуванням кутової швидкості платформи:

$$h_{eff} = h_{base} \cdot (1 + \alpha \cdot |\omega_z|) \quad (2)$$

де ω_z - кутова швидкість навколо вертикальної осі, α - коефіцієнт адаптації, що калібрується експериментально.

Такий підхід дозволяє зменшити частоту хибних спрацювань під час поворотів без втрати чутливості до реальних відмов.

Запропонований алгоритм має лінійну обчислювальну складність $O(N)$ відносно розміру вікна обробки, що забезпечує виконання в режимі реального часу на вбудованих платформах з обмеженими ресурсами. Це досягається за рахунок рекурсивного оновлення статистик та відсутності ітеративних процедур оптимізації, що принципово відрізняє підхід від ресурсоемних методів машинного навчання, які вимагають попереднього тренування та значної кількості пам'яті для інференсу.

Практична реалізація запропонованого методу передбачає його інтеграцію у програмні фреймворки для робототехнічних систем через стандартні інтерфейси обміну даними. Це забезпечує сумісність з існуючими модулями локалізації та планування без необхідності суттєвої модифікації базової архітектури. Додатковою перевагою є можливість налаштування параметрів методу під конкретні умови експлуатації через зовнішні конфігураційні файли, що спрощує адаптацію до різних типів платформ та сенсорних конфігурацій.

Коефіцієнт адаптації α визначається емпірично на основі серії попередніх симуляційних експериментів із варіюванням кутової швидкості та рівня шуму сенсорів. Оптимальне значення обирається за критерієм мінімізації сумарної ймовірності помилок першого та другого роду (хибне спрацювання + пропуск відмови). Такий підхід забезпечує баланс між консервативністю (уникнення хибних тривог) та агресивністю (швидке виявлення реальних проблем) системи моніторингу.

Перевірка запропонованого методу здійснювалася в симуляційному середовищі на базі платформи з кінематикою з поворотом ковзанням. Моделювалися сценарії з ін'єкцією відмов інерціального модуля та глобальної навігаційної системи. Попередні симуляційні експерименти підтверджують працездатність підходу: адаптивне масштабування порогу дозволяє знизити частоту хибних спрацювань під час маневрування при збереженні чутливості до реальних відмов. Остаточні кількісні результати будуть представлені у повній версії статті.

Розроблений метод може бути інтегрований у сучасні програмні фреймворки для робототехнічних систем та забезпечує підвищення безпеки експлуатації автономних наземних платформ у складних умовах. Запропонований метод має потенціал для застосування в широкому класі автономних систем, де надійність навігації є критичною: рятувальні операції в зонах стихійних лих, інспекція інфраструктури в складних умовах, дослідницькі місії з обмеженим доступом до глобальних навігаційних систем. Подальші дослідження будуть спрямовані на розширення методу для виявлення каскадних відмов (одночасна деградація кількох сенсорів) та інтеграцією з системами адаптивного планування траєкторій, що дозволить не лише детектувати, а й компенсувати наслідки відмов у реальному часі.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Harbaoui N., Makkawi K., Ait-Tmazirte N., El Najjar M.E.B. Context Adaptive Fault Tolerant Multi-sensor fusion: Towards a Fail-Safe Multi Operational Objective Vehicle Localization. *Journal of Intelligent & Robotic Systems*. 2024. Vol. 109. DOI: 10.1007/s10846-023-01906-2.
2. Kheirandish M., Yazdi E.A., Mohammadi H., Mohammadi M. A fault-tolerant sensor fusion in mobile robots using multiple model Kalman filters. *Robotics and Autonomous Systems*. 2023. Vol. 161. DOI: 10.1016/j.robot.2022.104342.
3. Borges P.V.K. et al. Traversability Estimation: A Survey. *IEEE Transactions on Robotics*. 2022. Vol. 38, № 4. Pp. 2145–2167. DOI: 10.1109/TRO.2022.3141592.
4. Groves P.D. Principles of GNSS, Inertial, and Multisensor Integrated Navigation Systems. 2nd ed. Boston : Artech House, 2013. 584 p.
5. Najjar M.E., Pomorski D. KL-Divergence Based Fault Detection and Exclusion for GPS/INS Systems. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*. 2017. Vol. 18, № 9. Pp. 2395–2407. DOI: 10.1109/TITS.2016.2636338.

СЕКЦІЯ
«НОВІТНІ
ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ
В МЕДИЧНІЙ ГАЛУЗІ»

РОЗРОБКА МОБІЛЬНОГО ДОДАТКУ ДЛЯ “ЦИФРОВОГО ФЕНОТИПУВАННЯ” (DIGITAL PHENOTYPING) У ПРОГНОЗУВАННІ РЕЦИДИВІВ ДЕПРЕСИВНИХ РОЗЛАДІВ

Депресивні розлади є одними з найпоширеніших причин зниження якості життя, соціальної дезадаптації та втрати працездатності в сучасному світі. Вони суттєво впливають не лише на емоційний стан людини, а також позначаються на її когнітивних процесах, повсякденній продуктивності, здатності до соціальної комунікації та виконанні робочих функцій. Серйозну складність у клінічній практиці становить той факт, що депресія часто має рецидивуючий перебіг, а повторні епізоди можуть розвиватися поступово, без різко виражених симптомів на початкових етапах. Саме тому критично важливим завданням у клінічному веденні пацієнтів із депресією є своєчасне виявлення рецидиву та раннє реагування на ознаки погіршення психічного стану. Традиційні підходи здебільшого ґрунтуються на періодичних консультаціях і ретроспективній самооцінці пацієнта, однак подібні інструменти не гарантують можливості вчасно зафіксувати погіршення стану через суб'єктивні викривлення, труднощі із точною оцінкою власних змін, а також великі проміжки часу між візитами до лікаря. У багатьох випадках пацієнт звертається по допомогу вже тоді, коли симптоматика набула вираженого характеру і почала суттєво впливати на його повсякденне функціонування.

У зв'язку з цим перспективним напрямком є використання цифрового фенотипування (digital phenotyping). Цей підхід базується на безперервному та пасивному зборі поведінкових метаданих зі смартфона для подальшого аналізу та прогнозування змін психоемоційного стану в реальному часі. На противагу стандартним форматам анкетування, цифрове фенотипування дозволяє отримувати інформацію не епізодично, а практично безперервно, що створює можливість для більш точного виявлення динаміки стану пацієнта. Такий підхід забезпечує високу екологічну валідність даних і формує об'єктивну картину повсякденного життя пацієнта, оскільки аналізуються не абстрактні відповіді на запитання, а реальні патерни поведінки в природному для людини середовищі. Саме смартфон у цьому випадку виступає зручним і доступним інструментом, адже він супроводжує користувача протягом дня і накопичує велику кількість непрямих показників, пов'язаних із його активністю, соціальною взаємодією та режимом дня.[1] З огляду на це, головною метою нашої роботи стало проєктування та обґрунтування концепції мобільної платформи для предиктивного аналізу рецидивів депресії на основі пасивного збору та обробки метаданих смартфона.

Для реалізації програмного рішення було обрано сучасний стек технологій, що дозволяє поєднати аналітичні можливості серверної частини з гнучкістю мобільного клієнтського застосунку. Серверна частина та алгоритми аналізу даних створюються за допомогою мови програмування Python, зокрема бібліотек для статистичного аналізу і машинного навчання. Такий вибір обумовлений широкими можливостями Python у сфері обробки масштабних баз даних, генерування предиктивних алгоритмів, ідентифікації прихованих закономірностей та інтеграції алгоритмів інтелектуального аналізу у прикладні медичні системи. Клієнтський застосунок базується на фреймворку Flutter, що дозволяє розробити кросплатформний інтерфейс із прямим доступом до апаратних датчиків пристрою. Застосування Flutter також

забезпечує єдність користувацького досвіду незалежно від типу мобільної платформи, а це є важливим для масштабування платформи та її подальшого практичного впровадження. Фундаментом дослідження стала наукова література з цифрової психіатрії та мобільного моніторингу психічного стану.[2] Аналіз наявних публікацій показав, що саме пасивно зібрані цифрові сліди можуть виступати цінними поведінковими індикаторами, здатними відображати зміни у психоемоційному стані людини ще до появи клінічно виражених скарг.

Як інформативні параметри були обрані: швидкість і патерни набору тексту, що безпосередньо відображають психомоторну загальмованість; частота та радіус переміщень за даними GPS як маркери апатії; тривалість використання смартфона у нічний час, кількість вхідних та вихідних дзвінків, а також частота розблокування екрану. Доцільність вибору саме цих показників пов'язана з тим, що вони непрямо відображають важливі компоненти психічного стану: рівень активності, соціальну включеність, добову структуру поведінки, якість сну та психомоторний темп. Наприклад, зниження частоти комунікації може свідчити про соціальне відсторонення, характерне для депресивних станів, тоді як зменшення геолокаційної активності може бути пов'язане зі зниженням мотивації, енергії та інтересу до зовнішньої діяльності. Водночас збільшення нічної активності смартфона може відображати порушення сну, що також часто супроводжує депресивний епізод або передує його загостренню. Таким чином, сукупний аналіз цих характеристик дозволяє сформуванню цілісного поведінкового профілю користувача та виявляти поступові зміни, які окремо могли б залишитися непоміченими. Важливо зазначити, що збір інформації відбувається виключно за інформованої згоди, а всі дані підлягають надійній деідентифікації. Це є принципово важливим, оскільки робота з цифровими поведінковими даними в психіатрії вимагає безкомпромісного підходу до дотримання етики, збереження приватності та захисту персональної інформації.

У результаті розробки було спроектовано концепцію мобільної платформи, що забезпечує пасивний збір поведінкових метаданих користувача без необхідності постійного ручного введення інформації. Це дозволяє мінімізувати рівень обтяження для хворого та уникнути ситуацій, коли участь у моніторингу сама по собі стає додатковим стресовим чинником. Передбачено модулі збору, збереження, попередньої очистки та аналітичної оцінки даних, які дають змогу виявляти відхилення у звичній поведінці пацієнта. Архітектура такої системи орієнтована не лише на накопичення даних, а й на їх подальше перетворення у клінічно корисну інформацію.

Зокрема, зменшення мобільності, зниження комунікаційної активності, зміна частоти користування смартфоном або уповільнення цифрової взаємодії обґрунтовано виступають потенційними маркерами погіршення психічного стану.[3] Їхня цінність полягає в тому, що вони можуть бути виявлені ще до того, як пацієнт сам усвідомить виражене погіршення самопочуття або повідомить про нього під час чергового візиту. Наприклад, різке зменшення кількості вихідних повідомлень у поєднанні з тривалим перебуванням удома система розпізнає як сигнал високого ризику. Якщо до цього додається скорочення кількості пересувань, зміни в нічній активності або нетипове зниження частоти розблокування смартфона, рівень прогностичної настороженості може додатково зростати. Саме комбінація кількох цифрових маркерів, а не одиничний показник, дозволяє підвищити надійність оцінки та знизити ймовірність хибних висновків. На основі зібраних метаданих додаток формує прогностичну оцінку ризику рецидиву та слугує допоміжним інструментом для лікаря при моніторингу, дозволяючи фахівцю своєчасно відреагувати та запобігти повноцінному розгортанню депресивного епізоду.

Отже, розробка мобільної платформи для цифрового фенотипування демонструє значний потенціал у ранньому виявленні ознак рецидиву депресії та загальному підвищенні

ефективності клінічного спостереження. Перехід від реактивної моделі медицини до превентивної є ключовою перевагою такого підходу. Використання пасивно зібраних метаданих може ефективно доповнювати традиційні психіатричні методи оцінки, забезпечуючи більш безперервний, об'єктивний і персоналізований моніторинг стану пацієнта. Запропонована концепція формує надійну базу для майбутнього вдосконалення смарт-інструментів супроводу лікарських рішень у психіатрії та може розглядатися як перспективний напрям поєднання мобільних технологій, поведінкової аналітики та сучасної медичної практики. [4].

ЛІТЕРАТУРА:

1. Torous, J., Kiang, M. V., Lorme, J., & Onnela, J. P. (2016). New tools for new research in psychiatry: a scalable and customizable platform to empower data driven smartphone research. *JMIR Mental Health*, 3(2), e16.
2. Insel, T. R. (2017). Digital phenotyping: technology for a new science of behavior. *JAMA*, 318(13), 1215-1216.
3. Saeb, S., Zhang, M., Karr, C. J., Schueller, S. M., Corden, M. E., Kording, K. P., & Mohr, D. C. (2015). Mobile phone sensor correlates of depressive symptom severity in daily-life behavior: an exploratory study. *Journal of Medical Internet Research*, 17(7), e175.
4. Mohr, D. C., Zhang, M., & Schueller, S. M. (2017). Personal sensing: understanding mental health using ubiquitous sensors and machine learning. *Annual Review of Clinical Psychology*, 13, 23-47.

СМАРТ-ГОДИННИКИ ТА МОБІЛЬНІ ДОДАТКИ ЯК ІНСТРУМЕНТ ЦИФРОВОГО МОНІТОРИНГУ ЖИТТЄВИХ ПОКАЗНИКІВ ПАЦІЄНТІВ

У сучасних умовах стрімкого розвитку цифрових технологій у сфері охорони здоров'я значної актуальності набуває впровадження інноваційних інформаційних систем для моніторингу стану здоров'я пацієнтів. Одним із перспективних напрямів цифрової медицини є використання натільних електронних пристроїв (wearable technologies), зокрема смарт-годинників, у поєднанні з мобільними додатками для безперервного контролю життєвих показників. Сучасні смарт-годинники оснащені різноманітними біосенсорами, що дозволяють у режимі реального часу реєструвати фізіологічні параметри організму людини. До таких параметрів належать частота серцевих скорочень, рівень фізичної активності, насичення крові киснем, варіабельність серцевого ритму та показники сну. Отримані дані передаються до мобільних додатків, там здійснюється їх обробка, аналіз і зберігання [1]. Результати сучасних досліджень свідчать, що натільні пристрої можуть демонструвати достатньо високу точність вимірювання фізіологічних показників, що робить їх перспективними для застосування у клінічній практиці та системах дистанційного медичного спостереження [2]. Крім того, використання таких технологій забезпечує підвищення ефективності раннього виявлення серцево-судинних захворювань, зокрема порушень серцевого ритму [3].

Для ретроспективного аналізу було використано наукові статті та публікації, зареєстровані в електронних науково-медичних базах даних, таких як PubMed та Google Scholar. Здійснено аналіз можливостей застосування смарт-годинників та мобільних додатків як інструментів цифрового моніторингу життєвих показників пацієнтів та оцінка їхнього потенціалу для використання в сучасній медичній практиці.

Смарт-годинники є цифровими пристроями, які використовують різноманітні сенсорні технології для реєстрації фізіологічних показників організму. Найпоширенішим методом вимірювання частоти серцевих скорочень є фотоплетизмографія, що базується на аналізі змін об'єму крові в мікросудинах шкіри під дією світлового сигналу [4]. Завдяки інтеграції з мобільними додатками отримані дані можуть накопичуватися, систематизуватися та аналізуватися протягом тривалого часу. Накопичені дані дають змогу формувати індивідуальні профілі здоров'я пацієнтів та своєчасно виявляти відхилення від референсних значень.

Мобільні додатки є ключовим елементом системи цифрового моніторингу, оскільки забезпечують інтерфейс взаємодії між користувачем і пристроєм. Вони дозволяють здійснювати доступну візуалізацію медичних даних, формувати статистичні звіти та передавати інформацію лікарю для подальшого аналізу. Застосування алгоритмів машинного навчання у мобільних медичних додатках дозволяє виявляти приховані закономірності у фізіологічних даних та прогнозувати можливі ризики розвитку захворювань [2]. Використання смарт-годинників у поєднанні з мобільними технологіями сприяє розвитку персоналізованої медицини.

Застосування смарт-годинників у клінічній практиці відкриває нові можливості для дистанційного спостереження за пацієнтами. Безперервний моніторинг життєвих показників дозволяє отримувати більш повну інформацію про стан організму порівняно з традиційними періодичними скринінгами. Особливо важливим є застосування таких технологій для пацієнтів із серцево-судинними захворюваннями. Дослідження показали, що натільні пристрої можуть бути ефективними у скринінгу порушень серцевого ритму [3]. Кардіологія стала тим локомотивом, який потягнув за собою всю індустрію натільних медичних пристроїв. Однією з найпідступніших проблем сучасної кардіології є фібриляція передсердь (ФП) - аритмія, яка часто протікає безсимптомно, але збільшує ризик ішемічного інсульту в п'ять разів.

Традиційний холтерівський моніторинг, який триває 24 або 48 годин, може просто не «впіймати» епізод аритмії, якщо він трапляється рідко. Натомість смарт-годинник на руці пацієнта знаходиться майже цілодобово. Якщо ще десять років тому смарт-годинник сприймався більшістю як дорога іграшка для шанувальників гаджетів або просто зручний фітнес-трекер для підрахунку кроків, то сьогодні ми є свідками того, як ці пристрої впевнено займають своє місце в арсеналі доказової медицини. Перехід від концепції загального оздоровлення до реальних клінічних інструментів відбувся непомітно, але надзвичайно стрімко. Сьогодні лікарі все частіше стикаються з пацієнтами, які на прийомі показують не лише паперові медичні картки, а й екрани смартфонів із графіками ЕКГ чи частоти серцевих скорочень за останні пів року.

Крім того, постійний контроль фізіологічних параметрів сприяє підвищенню рівня залученості пацієнтів до контролю власного здоров'я. До основних переваг використання смарт-годинників у медицині належать доступність, простота використання та можливість безперервного збору фізіологічних даних. Такі технології дозволяють оптимізувати процес медичного спостереження та знизити навантаження на систему охорони здоров'я. Водночас існують певні обмеження, пов'язані з точністю вимірювань у різних умовах, а також питаннями конфіденційності та захисту персональних даних.

Знаковим у цьому контексті стало масштабне дослідження *Apple Heart Study*, яке охопило понад 419 тисяч учасників. Алгоритми смарт-годинника аналізували нерегулярності пульсу за допомогою фотоплетизмографії. Якщо пристрій фіксував підозрілий ритм, пацієнту надсилали спеціальний ЕКГ-пластир для підтвердження діагнозу. Результати вразили медичну спільноту: ймовірність того, що нерегулярний пульс, зафіксований годинником, дійсно є фібриляцією передсердь на ЕКГ, склала 84% [5].

Сьогодні більшість флагманських смарт-годинників пішли ще далі - вони оснащені датчиками для реєстрації одноканальної електрокардіограми. Для цього пацієнту достатньо доторкнутися пальцем до коліщатка або металевої рамки годинника, замикаючи електричний ланцюг. Звісно, одноканальна ЕКГ не замінить класичну 12-канальну в умовах стаціонару і не покаже інфаркт міокарда, але для скринінгу ФП це інструмент безпрецедентної потужності.

Інша сфера, де натільні пристрої здійснюють тиху революцію - це сомнологія. Розлади сну є справжньою невидимою епідемією 21 століття. Синдром обструктивного апное уві сні (СОАС), при якому людина буквально перестає дихати на короткі проміжки часу, призводить до хронічної гіпоксії, підвищення артеріального тиску та денної сонливості. Діагностика СОАС традиційно вимагає проведення полісомнографії у спеціальній лабораторії: пацієнта обплутують десятками дротів, що само по собі не сприяє нормальному сну.

Сучасні смарт-годинники пропонують оригінальне рішення. Поєднуючи дані акселерометра (рухи тіла), пульсометра та датчика SpO₂ (рівень насичення крові киснем), алгоритми здатні з високою часткою ймовірності запідозрити наявність нічного апное. Зниження рівня кисню в крові, що супроводжується різким прискоренням пульсу та мікропробудженням (яке фіксує акселерометр), є класичним патерном епізоду апное. Дослідження показують, що хоча смарт-годинники ще не можуть слугувати єдиним діагностичним критерієм, вони є блискучим інструментом масового скринінгу, який підказує пацієнту: «Вам час звернутися до сомнолога» [6].

Моніторинг життєвих показників не обмежується лише тим, що годинник може виміряти самостійно. Натільні пристрої стають своєрідним хабом, концентратором даних із різних медичних сенсорів. Найяскравіший приклад - цукровий діабет. Для пацієнтів із діабетом 1-го типу системи безперервного моніторингу глюкози стали справжнім порятунком від необхідності колоти пальці по кілька разів на день.

Сьогодні такі системи (наприклад, Dexcom або Abbott FreeStyle Libre) легко інтегруються зі смарт-годинниками через мобільні додатки. Для пацієнта це має величезний психологічний ефект. Здавалося б, яка різниця, де подивитися рівень цукру - на екрані смартфона чи на зап'ясті? Але в реальному житті, під час наради, в театрі чи за кермом, кинути швидкий погляд на годинник - це набагато непомітніше і комфортніше. Більше того, годинник

може вібрувати, попереджаючи про наближення гіпоглікемії ще до того, як пацієнт відчує слабкість [7]. Це рятує життя в буквальному сенсі.

Цікаво, що справжній потенціал смарт-годинників розкрився з абсолютно несподіваного боку під час пандемії COVID-19. Дослідники поставили просте питання: чи може звичайний фітнес-трекер помітити, що людина захворіла, ще до появи кашлю та лихоманки? Виявилося, що так. У великому дослідженні DETECT (Scripps Research Translational Institute) вчені аналізували такі непомітні для самої людини параметри, як частота серцевих скорочень у стані спокою, тривалість сну та загальна активність. Виявилося, що за 2-3 дні до появи перших клінічних симптомів COVID-19 у пацієнтів починав стабільно зростати пульс у стані спокою, а варіабельність серцевого ритму знижувалася [8]. Організм уже боровся з вірусом, симпатична нервова система працювала на виснаження, і годинник це фіксував. Такі розробки відкривають двері до створення глобальних систем епідеміологічного нагляду.

Але медицина - це не лише тіло, це й психіка. Останнім часом ми спостерігаємо зародження нового напрямку, який отримав назву «цифрове фенотипування». Мобільні додатки в синергії з натільними пристроями збирають величезний масив поведінкових даних. Як часто людина виходить з дому? Скільки часу проводить у соціальних мережах? Чи змінився її патерн сну?

Різка зміна цих звичок, у поєднанні зі зниженням фізичної активності та змінами ВСР, може бути раннім маркером розвитку депресивного епізоду або тривожного розладу. Окремі моделі смарт-годинників сьогодні оснащені датчиками електродермальної активності, які вимірюють мікроскопічні зміни провідності шкіри, спричинені виділенням поту. Відстежуючи ці показники, мобільні додатки можуть вчасно запропонувати користувачеві зробити дихальну вправу або зробити перерву, ефективно допомагаючи в управлінні хронічним стресом [9].

Підсумовуючи всю палітру можливостей і викликів, можна з упевненістю сказати: смарт-годинники та мобільні медичні додатки стали повноцінними інструментами для амбулаторного моніторингу, розширюючи межі клініки до повсякденного життя пацієнта.

Майбутнє цієї сфери виглядає фантастично цікавим. Наразі провідні лабораторії світу б'ються над створенням неінвазивного глюкометра (без проколу шкіри), вбудованого в годинник, а також удосконалюють алгоритми вимірювання артеріального тиску на основі часу транзиту пульсової хвилі, без використання манжети. Коли ці технології стануть досконалими та пройдуть сертифікацію медичних регуляторів (таких як FDA в США чи ЕМА в Європі), ми отримаємо інструмент превентивної медицини нечуваної потужності.

Зрештою, головна мета всіх цих інновацій полягає не в тому, щоб замінити лікаря штучним інтелектом чи алгоритмом. Їхня мета – надати лікарю точний компас у морі фізіологічних даних, а пацієнту – відчуття контролю над власним здоров'ям. І, судячи з поточних наукових результатів, ми впевнено рухаємося у правильному напрямку.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Nelson B., Allen N. Accuracy of consumer wearable heart rate measurement during a 24-hour period. *JMIR mHealth and uHealth*. 2019.
2. Sarhaddi F. et al. Comprehensive accuracy assessment of smartwatch heart rate monitoring. *PLoS ONE*. 2022.
3. Zarak M. et al. Validation studies for the use of wearable smartwatches in screening atrial fibrillation. *International Journal of Arrhythmia*. 2024.
4. Meza C. et al. Accuracy of smartwatch heart rate monitoring in clinical practice. *Sensors*. 2023.
5. Perez M. V., Mahaffey K. W., Hedlin H. et al. Large-Scale Assessment of a Smartwatch to Identify Atrial Fibrillation. *New England Journal of Medicine*. 2019. Vol. 381, No. 20. P. 1909–1917.
6. Perez-Macias J. M. et al. Use of Smartwatches for Sleep Apnea Detection: A Systematic Review. *Sleep Medicine Reviews*. 2021.
7. Lu T. C. et al. Wearable Devices for Continuous Glucose Monitoring: Integration and Patient Compliance. *Journal of Diabetes Science and Technology*. 2022.
8. Radin J. M., Wineinger N. E., Topol E. J., Steinhubl S. R. Harnessing wearable device data to improve state-level real-time surveillance of influenza-like illness and emerging infectious diseases: a retrospective observational study. *The Lancet Digital Health*. 2020. Vol. 2, No. 2. P. e85–e93.
9. Hickey B. A. et al. Smart devices and wearable technologies to detect and monitor mental health conditions and stress: A systematic review. *Internet Interventions*. 2021.

СЕКЦІЯ
«СУЧАСНІ
КОМП'ЮТЕРИЗОВАНІ ТЕХНОЛОГІЇ
В ГАЛУЗІ МЕХАНІЧНОЇ ІНЖЕНЕРІЇ
І МЕХАТРОНІКИ»

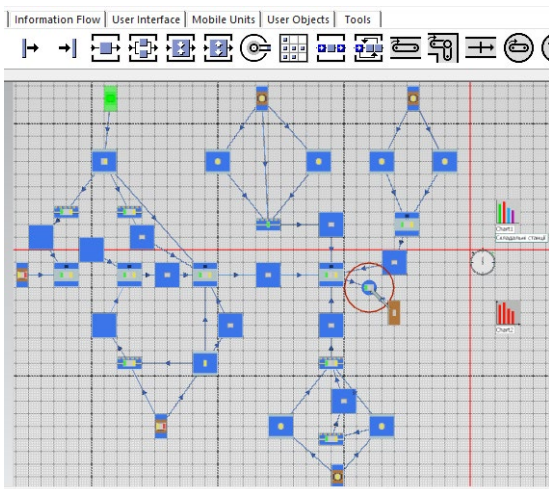
ІМІТАЦІЙНИЙ СИНТЕЗ АВТОМАТИЗОВАНИХ ВИРОБНИЧИХ ДІЛЬНИЦЬ ВУЗЛІВ СИСТЕМ ЖИВЛЕННЯ ДВЗ

В умовах сучасного виробництва та сервісного обслуговування технічних об'єктів таких як технологічне обладнання, транспортна і сільгосптехніка, вузли та агрегати машинобудування потребують зручних, якісних а головне достовірних інструментів оцінки комплексних проектних рішень від ескізу виробу до його умов експлуатації та ремонту. Актуальним в цьому напрямку є методологія функціонально-модульного проектування виробничих систем включаючи автоматичних лінії, роботомеханічних комплексів і навіть заводів як стандартними засобами САПР так і об'єктно-орієнтованими системами програмування з візуалізацією усіх віртуальних дій і явищ, що відбуваються в процесі виготовлення або ремонту технічного об'єкту. Даний напрям відповідає умовам четвертої промислової революції Industry 4.0 як застосування Smartтехнологій, що необхідно використовувати на всіх етапах забезпечення машинобудівних виробництв. Стосовно вузлів систем живлення двигунів внутрішнього згорання спостерігається падіння рівня їх сервісного обслуговування з одночасним дуже швидким високим якісним рівнем безпосередньо виготовлення таких деталей як: карбюратори, розподільчі форсунки, колінчасті вали, впускні та випускні клапани, розподільчі вали і ін. Тому промислове бізнес середовище дуже зацікавлене у створенні віртуальних прототипів автоматичних та автоматизованих дільниць, що мають функції як виготовлення так і ремонту деталей автотракторної техніки, що можуть швидко бути оцінені як з технологічної так і економічної точок зору. Процес віртуального проектування полягає у використанні для вибраного варіанта електронних твердотільних моделей елементів машин для отримання її конструктивного варіанта в традиційному вигляді [1-4].

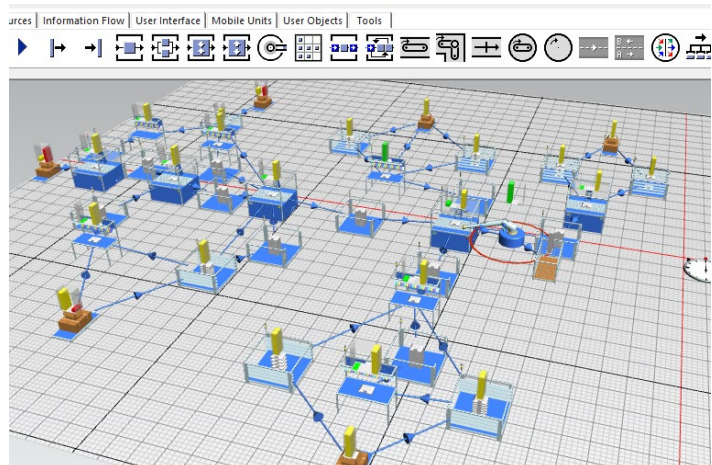
Результативність генерації проектних рішень тісно пов'язано, перш з рівнем засобів математичного забезпечення САПР. Математичну підтримку одержали проблеми автоматизованого геометричного моделювання, при розробці САД-систем. Математичні завдання автоматизованого геометричного моделювання було забезпечено з однієї з найбільш глибоких галузей математики – геометрії, зокрема аналітичної геометрії. Однак для вирішення завдання дослідження складних технологічних систем необхідно: - описувати безліч пристроїв і підсистем, - виводити різноманітну статистику роботи на ділянках моделі, - неодноразово змінювати параметри блоків (пристроїв) для проведення імітаційних експериментів. Для цього доцільно використовувати пакети імітаційного моделювання, в яких вже реалізований необхідний функціонал. Ці пакети поділяються на два основних типи: - предметно-орієнтовані програми моделювання (побудова моделі за допомогою графічного інтерфейсу); - мови імітаційного моделювання (написання програмного коду). Серед усього розмаїття програмних рішень найбільший інтерес представляють GPSS World, Extend, AnyLogic, Arena, Simulink, Factory I/O [4, 5].

Plant Simulation - програмне середовище імітаційного моделювання систем та процесів. Рішення призначене для оптимізації матеріалопотоків, завантаження ресурсів, логістики та методу управління для всіх рівнів планування від цілого виробництва та мережі виробництв до окремих ліній та ділянок [6]. Plant Simulation є візуальним об'єктно-орієнтованим середовищем для побудови імітаційних моделей широкого класу систем. Plant Simulation використовується у багатьох галузях промисловості. Наприклад, в автомобілебудуванні, машинобудуванні, авіаційно-космічній промисловості, обробній промисловості, електронній промисловості, виробництві товарів народного споживання, логістиці, на транспорті, у суднобудуванні та інших галузях. За результатами моделювання автоматично збирається

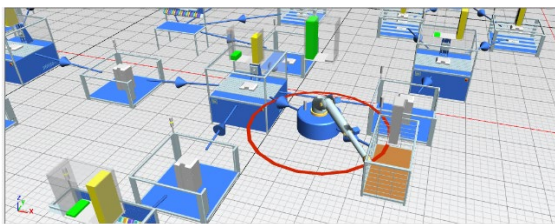
Виконано зміни традиційної структури (рис.1, в) у вигляді об'єднання складів і відповідного розподілення потоків на сортувальні станції (рис. 2, а). Встановлено робот-маніпулятор укладач готових виробів на склад (рис.2, в).



а)



б)



в)

Ім'я: Drain1 Отказ Вход заблокирован

Метка: Рабочее вр

Зеналадка Отказы Управление событиями Статистика Статистика типа

Статистика в зависимости от типа

Таблица детальной статистики

Работа:	9.11%	Среднее время жизни:	2:09.9988
Наладка:	0.00%	Средний период выхода:	14.7616
Ожидание:	86.32%	Общая выработка:	20
Остановлен:	0.00%	Выработка в минуту:	3.99
Отказ:	4.58%	Выработка в час:	239.69
Перерыв:	0.00%	Выработка в день:	5752.56

г)

Рисунок 2 – структура (а), 3d-модель ділянки (б), маніпулятор укладач на склад (в) і статистика роботи складу імітаційної моделі автоматизованої ділянки (г)

Для аналізу у реальному часі виробництва традиційної технологічної схеми застосовано об'єкт-індикатор властивостей, що будує діаграму статистики стану робочих станцій. В таблиці 1 наведено порівняння станів центральної гілки складальної лінії руху Корпусу карбюратора (станції Proc1-5) та станцій складання лівої і правої гілок Assembly (6 шт), що застосовані для складання до Кришки корбюратора, Корпусу дросельних заслонок і ін. Порівняння виконано під час 5- хвилин часу симуляції традиційної лінії без застосування буферів як міжопераційних накопичувачів (перший стовпчик табл.1) і з міжопераційними буферами ємністю 500 деталей кожний (перший стовпчик табл.1).

Таблиця 1 - Порівняння завантаженості робочих станцій на протяжі роботи 5 хв.

Час роботи	структура лінії без міжопераційних накопичувачів	структура лінії з міжопераційними накопичувачами ємністю 500 деталей
1,0		
2,0		
3,0		
4,0		
5,0		

На основі узагальненої технологічної схеми складання карбюраторів проведено аналіз ефективності роботи автоматизованих лінії і ділянок за критеріями фактичної продуктивності з урахуванням відмов та не циклових простоювань на кожну деталь безперебійної роботи одиниць обладнання і ступенем завантаженості. Запропоновано альтернативні рішення і компонування автоматизованих ліній, що враховують групові та модульні технології складання карбюраторів а також їх ремонту за рахунок введення тимчасових складів між робочими одиницями (станціями). Виконано імітаційні дослідження в середовищі Tecnomatix plant simulation.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Воронцов Б.С. Впровадження імітаційного моделювання логістики технологічних процесів в навчальний процес. *Форум інженерів механіків XXI МНТК "Прогресивна техніка, технологія та інженерна освіта"*, 2020. С. 231–237
2. Кузнецов Ю.М., Шибєцький В.Ю. Робототехнічні системи і комплекси фармацевтичного та біотехнологічного виробництв: Навч. пос /Під заг.ред. Ю.М. Кузнецова. К.: ГНОЗІС, 2012. 335 с.
3. Пальчевський Б.О., Крестьянполь О.А., Валецький Б.П., Бондарчук Д.В., Рак В.С. Основи САПР пакувального обладнання: Навчальний посібник. За ред. Б.О. Пальчевського. Луцьк: РВВ ЛНТУ, 2008. 160 с
4. Кришук А.С. Забезпечення роботи транспортної системи з міжопераційними накопичувачами у ГАВ: Магістерська дисертація. КПІ ім. Ігоря Сікорського. 2018. 43 с. URL: https://ela.kpi.ua/bitstream/123456789/31115/5/Kryshhuk_magistr.pdf
6. Riera, B., Emprin, F., Annebicque, D., Colas, M., Vigario, B. HOME I/O: a virtual house for control and STEM education from middle schools to Universities. *IFAC PapersOnLine*. 2016. Vol. 49(6). P. 168–173.
7. Tecnomatix Plant Simulation: Compact Student Training. Siemens PLM Software, 2017. 177 p.

ЗАЛЕЖНІСТЬ МІКРОТВЕРДОСТІ ДЕТАЛЕЙ ВІД СТРАТЕГІЙ АВТОМАТИЗОВАНОГО 3D ДРУКУ ТИТАНОВИМ ДРОТОМ

На сьогодні адитивні технології виготовлення деталей з титану та титанових сплавів набуває перспективного розвитку та застосування в багатьох галузях, зокрема в аерокосмічній та медичній, де треба зменшити час на виготовлення деталей складної геометрії зі збереженням високих механічних характеристик та корозійної стійкості. Тестову технологію 3D друку титановим дротом xBeam запроваджено на НВП «Червона хвиля» [1], що полягає у пошаровому наплавленні газорозрядною електронно-променевою гарматою, яка генерує порожнистий конічний електронний пучок, що забезпечує унікальні фізичні умови для точно контрольованого осадження металу та формування заданої металевої структури та механічних властивостей при виготовленні тривимірної деталі [2]. Основні технологічні і матеріалознавчі засади контрольованого 3D друку титановим дротом закладено в патентах на винахід авторів технології xBeam [3] та низці останніх публікацій в наукових виданнях міжнародного рівня [2, 4]. Однак для досягнення необхідних характеристик при 3D друці комбінованих деталей складної геометрії деталей з титану та сплавів потребує глибокого вивчення.

В даній роботі поставлено за мету визначити розподілення мікротвердості в профілях поперечних перетинів надрукованих деталей, з наплавленими окремо стінками під кутом 90° до попередньо надрукованих шарів титанового сплаву з різними стратегіями руху електронно-променевої гармати, керованої від ЧПУ (рис.1, а). Особливий інтерес викликають механічні характеристики комбінованих деталей отриманих 3D друком титановим дротом, а саме розподіл мікротвердості та залишкові механічні напруження в місцях зміни траєкторії руху електронної гармати, місцях адгезії і кристалізації шарів, місці з'єднання частин, що окремо наплаваються на вже існуючі ділянки друкованої деталі під кутом і ін.

Вимірювання мікротвердості виконувалось на приладі ПМТ-3 згідно ДСТУ EN ISO 6507-1:2022. Виготовлення мікрошліфів здійснювали методом механічного полірування у два етапи: з грубим та дрібним абразивом (або поліруючою речовиною) відповідно (рис.1, б).

Зразки підготовлювали поліруючою речовиною - суспензії з оксиду алюмінію, хрому та алмазні порошки. Нетравлені мікрошліфи використовували для аналізу дрібних фаз та включень. Як індентор було застосовано алмазну пірамідку з квадратною основою і двогранним кутом при вершині 136° при навантаженнях 0,05 та 0,2 Н протягом 10 с. Найбільша основна похибка окуляр-мікромметра на всьому діапазоні вимірювань становить ± 2 мкм відповідно до паспорта. Шліф встановлювався і закріплювався на предметному столику притискними лапками або тонким шаром пластилину.

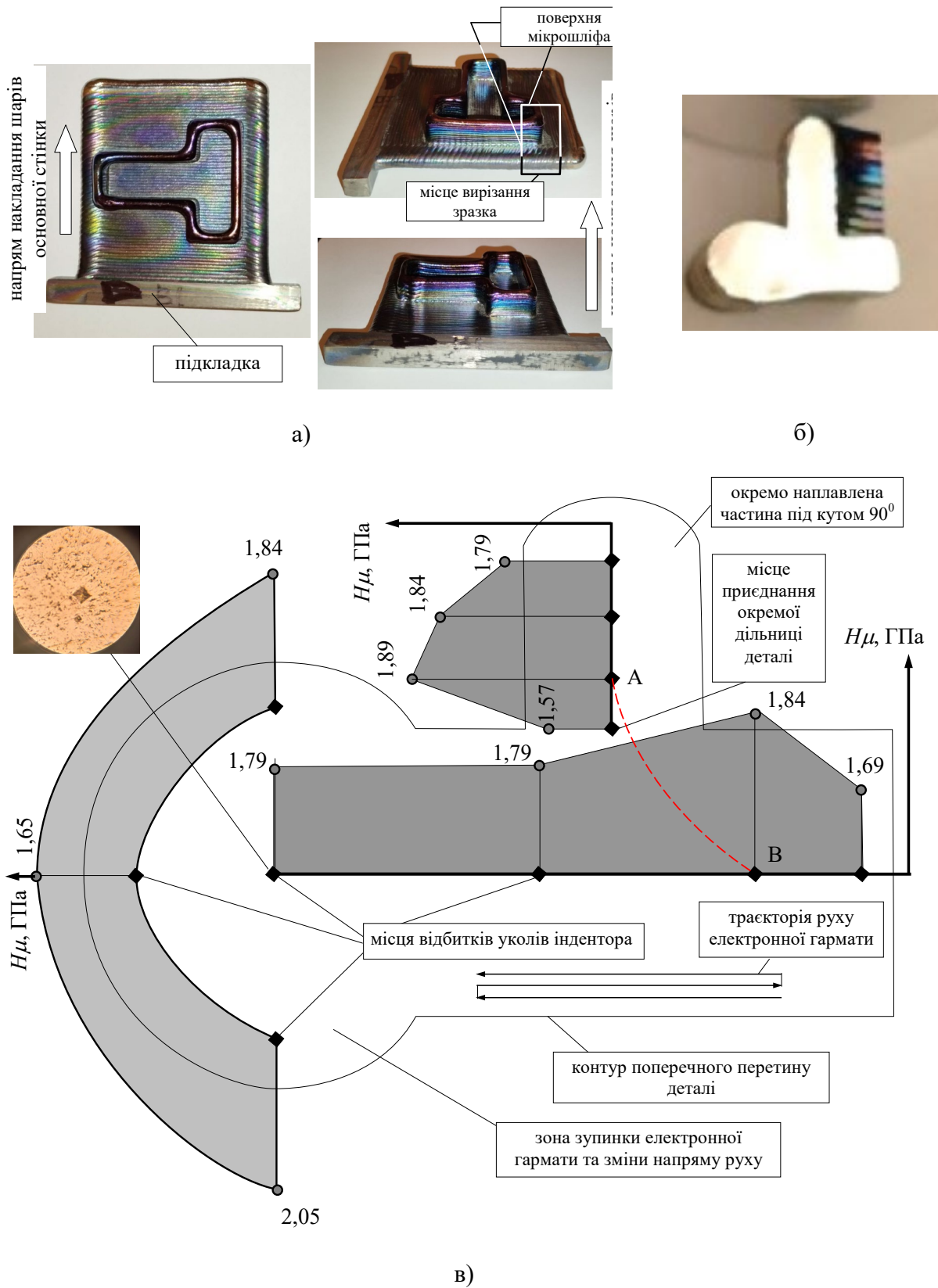


Рисунок 1 – Визначення мікротвердості по перетину деталі комбінованої геометрії надрукованої за технологією xBeam з титанового сплаву BT-1:
 а) – загальний вигляд деталі; б) – вирізаний зразок (мікрошліф);
 в) - розподіл мікротвердості в характерних місцях траєкторії пошарового накладання розхідного матеріалу

Результати вимірювань накладено схематично як епюри на контур поперечного перетину вимірюваного зразка та наведено на рис. 1, в, які свідчать про збільшення мікротвердості після охолодження деталі на деякій відстані від місця стику двох стінок, що перпендикулярні одна одній до 1,89 ГПа і створюють градієнт не тільки твердості, а і імовірно механічних залишкових напружень – лінія АВ. Дана обставина характеризує можливість пружних деформацій та неточності заданої геометрії друківаних елементів деталі під кутом, що потребує подальшої термічної і механічної пост обробки. Тому в якості напрямів подальших досліджень можна розглянути: вивчення програмно-керованих стратегій пошарового утворення елементів деталі узгоджених з керованими режимами нагрівання-охолодження під час друку; визначення мікротвердості від впливу режимів відпуску при термічній пост обробці; дослідження геометричної залежності друківаних стінок під різними кутами на анізотропію механічних властивостей і точності друку.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Технологія xBeam 3D Metal Printing нашляху до промислового виробництва / Д. В. Ковальчук, В. Г. Мельник, І. В. Мельник, Б. А. Тугай. *Сучасна електрометалургія*. 2020. № 3. С. 27–33. DOI: <https://doi.org/10.37434/sem2020.03.04>
2. Manufacturing a consolidated copper-stainless steel bimetallic product using xBeam 3D metal printing / Dmytro Kovalchuk, Leontii Tretyakov, Paul R Carriere, Nanda Gopal Matavalam. *The Paton Welding Journal.*, Issue 7, July 2024, pp. 3–9. DOI: <https://doi.org/10.37434/tpwj2024.07.01>
3. Патент України № 112682, МПК В22D19/00, В22D23/00 , Спосіб виготовлення тривимірних об'єктів і пристрій для його реалізації / Ковальчук Д.В., Мельник В.Г., патентовласник Приватне акціонерне товариство "НВО "Червона хвиля", заявл. 10.03.2015, бюл. № 5/2015, опубл. 10.10.2016, бюл. № 19/2016
4. Kovalchuk D., Ivasishin O., Savvakina D. Microstructure and Properties of 3D Ti-6Al-4V Articles Produced with Advanced Co-axial Electron Beam & Wire Additive Manufacturing Technology. *MATEC Web of Conferences*. 2020. Vol. 321. 03014 : The 14th World Conference on Titanium. DOI: <https://doi.org/10.1051/matecconf/202032103014>

КОНСТРУКТИВНІ УДОСКОНАЛЕННЯ ОБЛАДНАННЯ ПРОГРАМНО-КЕРОВАНОВОГО 3D-ДРУКУ МЕТАЛЕВИМ ДРОТОМ

Сучасні технології адитивного виготовлення металевих виробів характеризуються високим рівнем складності та водночас мають стратегічне значення для розвитку промисловості України. Аналіз наукових джерел, присвячених пошаровому формуванню металевих деталей [1–5], свідчить про існування різноманітних підходів до 3D-друку, зокрема із застосуванням порошкових матеріалів і дроту. Визначальним фактором ефективного керування такими процесами є явища, що відбуваються у рухомій ванні розплаву в умовах контрольованого захисного середовища.

На основі узагальнення сучасних наукових і патентних досліджень запропоновано нові компоновальні рішення програмно-керованого обладнання для виготовлення тривимірних металевих об'єктів. Запропонований підхід забезпечує розширення технологічних можливостей за рахунок використання дроту як витратного матеріалу та дозволяє отримувати вироби зі складною геометрією, зокрема з поверхнями подвійної кривизни.

Одним із ключових завдань адитивного виробництва є забезпечення однорідності макрота мікроструктури матеріалу, що безпосередньо впливає на механічні властивості готових виробів. Для розв'язання цієї проблеми запропоновано конструктивну схему пристрою, яка включає вакуумну камеру, електронну гармату зі сферичним катодом, систему подачі дротяного матеріалу, напрямний механізм, а також рухома платформу з багатопривідною кінематичною структурою, що керується системою числового програмного керування.

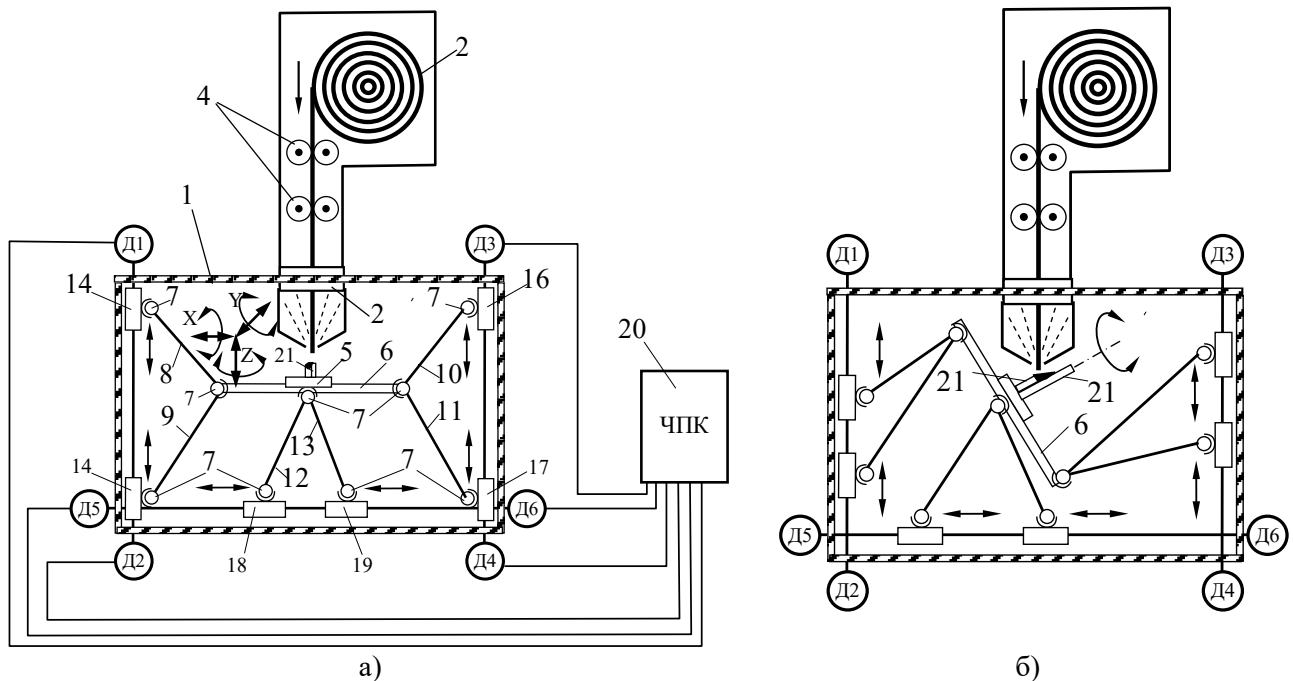


Рисунок 1 – Компоновальна схема обладнання для пошарового формування металевих виробів з позиціонуючою платформою підкладки

Як показано на рис. 1, використання багатопривідної платформи дозволяє реалізувати складні просторові переміщення та змінювати орієнтацію підкладки під час друку. Це забезпечує керовані умови нагрівання та кристалізації матеріалу при осадженні. У процесі

роботи в умовах вакууму здійснюється подача дроту через напрямний механізм до зони дії електронного променя, де формується ванна розплаву. Подальше пошарове осадження матеріалу відбувається шляхом контрольованого переміщення платформи за координатою Z із використанням алгоритмів зворотної кінематики.

На відміну від традиційних методів, що передбачають формування товстих шарів шляхом накладання паралельних проходів, запропонована технологія базується на зміні орієнтації вже сформованих шарів. Це дозволяє регулювати умови теплових процесів і покращити якість структури матеріалу.

Розширені можливості просторового позиціонування платформи дають змогу реалізовувати альтернативні стратегії осадження, зокрема формування шарів під кутом до попередніх. Це забезпечує нанесення матеріалу на нагріті бічні поверхні вже сформованих елементів і дозволяє створювати деталі складної геометричної форми. Використання різних траєкторій наплавлення (зигзаг, штрихування, спіраль тощо) сприяє досягненню рівномірних властивостей матеріалу.

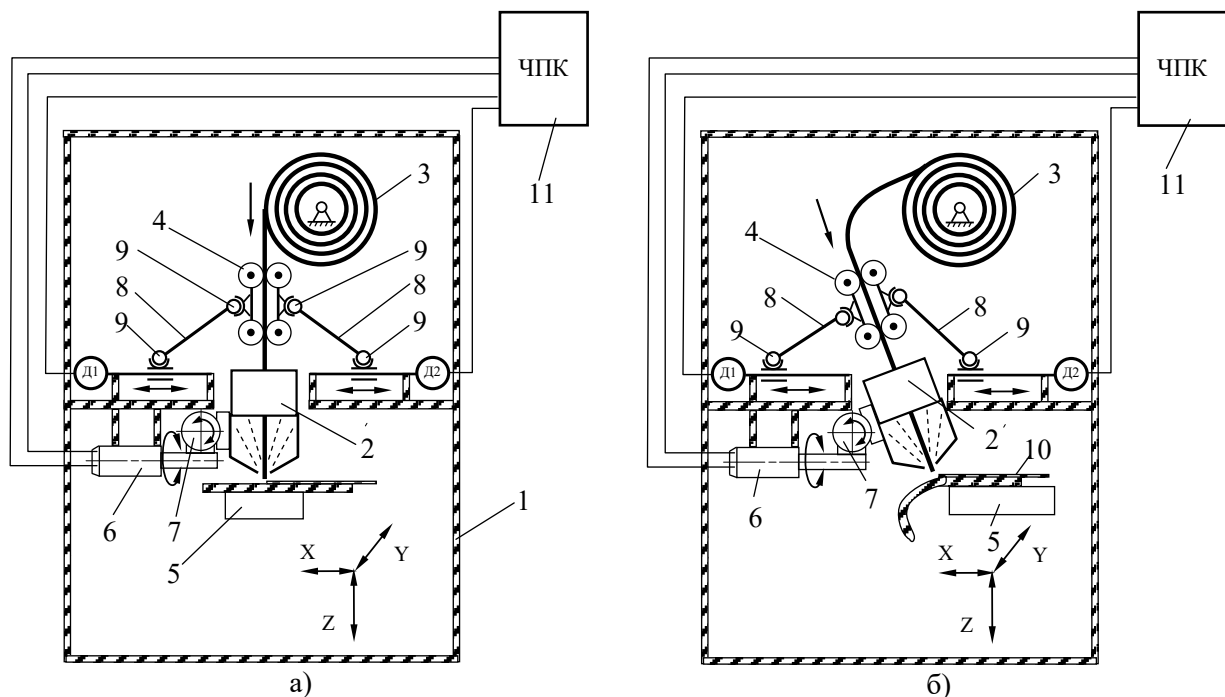


Рисунок 2 – Компонувальна схема обладнання з приводом обертання електронної гармати та механізмом орієнтації напрямного пристрою

Додаткове вдосконалення процесу полягає у керуванні формою ванни розплаву під час формування криволінійних поверхонь (рис. 2). Для цього електронну гармату встановлено на багатокоординатній системі обертання, а механізм подачі матеріалу оснащено незалежними приводами, що забезпечують його точне орієнтування відносно зони плавлення.

Синхронізація обертальних і поступальних рухів елементів системи, а також точне позиціонування подачі матеріалу дозволяють підтримувати стабільну форму ванни розплаву та контролювати температурні режими. Це особливо важливо під час реалізації складних траєкторій руху та формування виробів зі складною геометрією.

Отже, запропоновані конструктивні рішення дозволяють суттєво підвищити ефективність адитивного виробництва металевих виробів. Основним напрямом розвитку є вдосконалення керування рухами елементів системи та стабілізація процесів у ванні розплаву, що забезпечує формування матеріалу з однорідною структурою та передбачуваними механічними властивостями.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Dmytro Kovalchuk, Vitalii Melnyk, Ihor Melnyk, Borys Tugai Prospects of Application of Gas-Discharge Electron Beam Guns in Additive Manufacturing // *Elektrotechnica & Elektronika (E+E)*. No. 5-6/2016, pp.36-42
2. Dmytro Kovalchuk, Vitalii Melnyk, Ihor Melnyk, Borys Tugai Advanced Technical and Technological Solutions for Additive Manufacturing by xBeam 3D Metal Printing // *Elektrotechnica & Elektronika (E+E)*, Vol.53, No 3-4 (2018) pp. 60-68.
2. Kovalchuk, D., Ivasishin O. Profile electron beam 3D metal printing // Elsevier Inc., *Additive Manufacturing for the Aerospace Industry* (Book Chapter), 19 February 2019, Pages 213-233 <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-814062-8.00012-1>
3. Патент України № 143235, МПК В22D 19/00, В22D 19/10, В23К 26/34, С23С 26/02, Спосіб адитивного виробництва металевих 3D-виробів / Григоренко Г.М., Костін В.А., Григоренко С.Г., Шаповалов В.О., Ахонін С.В., Пікулін О.М., патентовласник Інститут електрозварювання ім. Є.О. Патона Національної академії наук України, заявл. 10.12.2019, Бюл.№ 23, опубл. 27.07.2020, Бюл.№ 14
4. Патент України № 112682, МПК В22D19/00, В22D23/00, Спосіб виготовлення тривимірних об'єктів і пристрій для його реалізації / Ковальчук Д.В., Мельник В.Г., патентовласник Приватне акціонерне товариство "НВО "Червона хвиля", заявл. 10.03.2015, бюл. № 5/2015, опубл. 10.10.2016, бюл. № 19/2016

УДК 621.7:004.94

¹Д.О. Дмитрієв, ²А.М.Кириченко, ¹С.А. Русанов, ¹В.В. Махник

¹Херсонський національний технічний університет

²Центральноукраїнський національний технічний університет
dmytriyev.dmytro@kntu.edu.ua

МОДЕЛЮВАННЯ ЛОГІСТИЧНИХ ПРОЦЕСІВ МЕТАЛУРГІЙНИХ ВИРОБНИЦТВ НА РІВНІ «ЦИФРОВОЇ ТІНІ»

Стратегією цифрового розвитку та інновацій «WINWIN 2030», затвердженою Урядом України у 2025 р. (розробка цифрових двійників машинобудівних підприємств є складовою розвитку штучного інтелекту та індустріальної аналітики як створення національних технологічних центрів досконалості). Цифрові двійники у інженерному моделюванні традиційно містять CAD/CAE-модель, що постійно отримує дані від сенсорів (наприклад, температурних, тензометричних тощо) та оновлює свій стан. Така інтеграція дозволяє не лише відображати поточний стан системи, а й прогнозувати майбутні зміни, аналізувати «що-якщо» сценарії та тестувати різні режими роботи без ризику для обладнання. Тому одним і досить впливовим аспектом смартизації машинобудування полягатиме у створенні віртуального відображення фізичних процесів як "цифрового двійника" (Digital Twin) на підприємстві з можливістю аналізу, оптимізації та прогнозування подій включаючи моделювання виробничих систем як процес використання спеціального комплексу програмного забезпечення для створення комп'ютерних абстракцій реальних виробничих процесів з метою їх аналізу та отримання важливих даних. Однак в навчальних цілях не завжди наявна можливість розробки повноцінного цифрового двійника підприємства через брак апаратного забезпечення, масштабності впровадження засобів автоматизації та моніторингу виробничих процесів, тому можна застосувати так звану «цифрову тінь» із прийнятими обмеженнями [1-4].

В даній роботі для побудови імітаційної моделі цифрової тіні прокатного цеху було використано Siemens Tecnomatix Plant Simulation. Tecnomatix Plant Simulation – сімейство програмних продуктів, призначених для автоматизації вирішення задач в області підготовки і оптимізації виробництва від компанії Siemens PLM Software. За допомогою функціоналу програмного забезпечення можливо проводити дослідження використання ресурсів та логістики на всіх рівнях виробництва, матеріальних потоків. Нижче розглянемо покроково процес моделювання.

Розміщено об'єкти «Source», які будуть ресурсною базою. Звідти по конвеєрній стрічці транспортують заготовки, з яких в подальшому виготовляється дрiт. Заготовка – це прокат, який має форму квадрату в поперечному перерізі, отриманий на МБЛЗ (машина безперервного лиття заготовок). Використовується для виробництва середнього та дрібного сорту, дроту. Розмір заготовок: 150x150 мм. В кінці ми отримаємо катанку (дрiт) діаметром 5-9 мм. Особливість прокатного виробництва полягає в тому, що для виробництва кожного виду прокату застосовується певна конструкція прокатного стану. На рис.1 показано розташування основних агрегатів, які використовуються при виробництві. Об'єкт «Drain» - це місце куди буде надходити готова продукція. Знаходиться в кінці прокатного цеху, дрiт зберігається в бухтах, де чекає на завантаження в потяг для подальшого транспортування.

За допомогою цього інструменту з'єднуються між собою агрегати, які застосовуються під час виробництва та задаємо рух заготовки.

Перші 2 агрегати це нагрівальні печі прокатного стану, далі йде група чорнових клітей і група чистових клітей прокатного стану. В печах відбувається нагрів до заданої температури заготовки отриманої на МБЛЗ. В клітях відбувається сам процес прокатки.

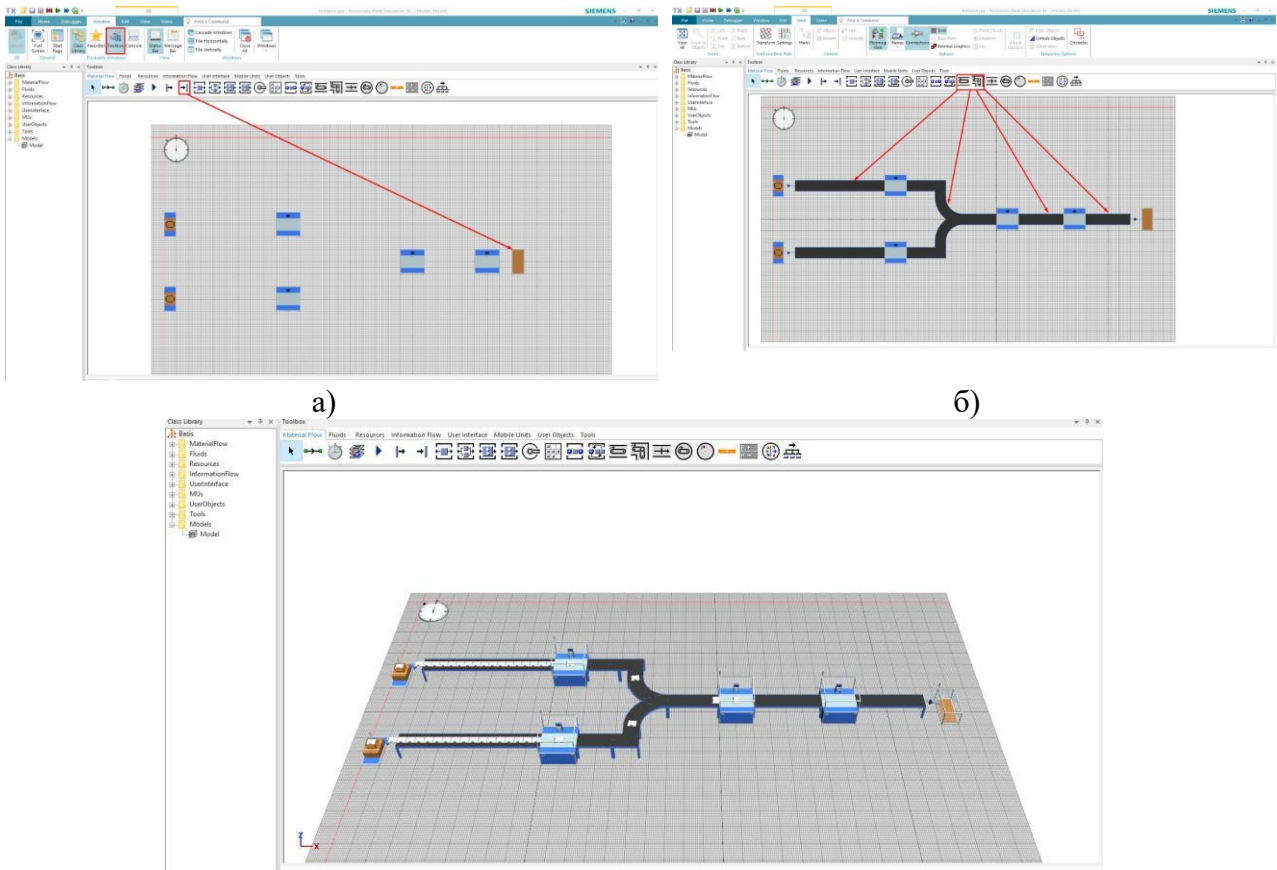


Рисунок 1 – Запуск імітації виробничого процесу:
а) - розміщення об'єкта «Drain»; б), в) - побудова лінії конвєсуру

Проектується безперервний стан, який характеризується тим, що прокат відбувається одночасно в декількох клітках. Оскільки процес відбувається безперервно, то як наслідок втрати тепла мінімальні, якість прокату краща. Кліті безперервних станів об'єднують в чорнову і чистову групу. Прокатна кліть, яку ще називають головною лінією стану, містить в собі робочу кліть, шпинделі, шестерневі кліті, редуктор, сполучні муфти та двигун. Після пробного запуску імітації виробничого процесу отримано наступні дані.

Щоб отримати статистичні дані у вигляді діаграм користуємось інструментом «Chart». Після додавання необхідних об'єктів інформація буде подана у вигляді діаграми, де можна оцінити основні показники (рис.2).

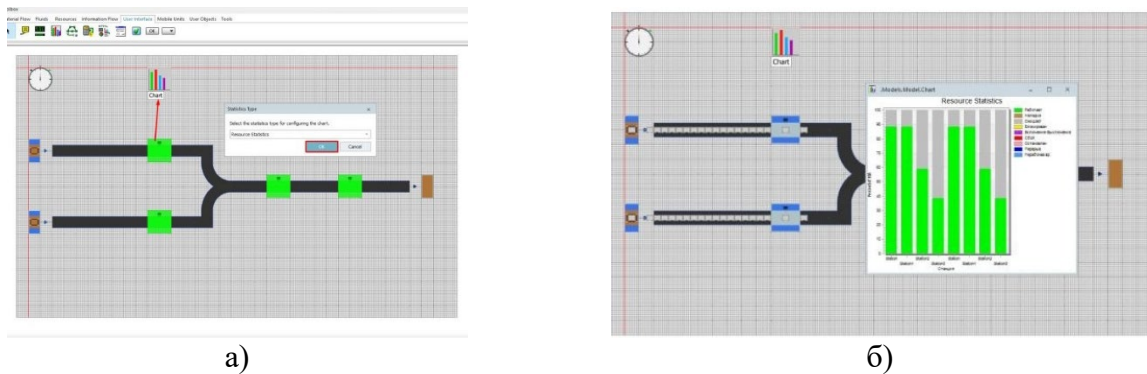


Рисунок 2 – Імітаційна модель дільниці прокати: а) – вибір об'єктів для відображення статистичних даних; б) - діаграма роботи/завантаженості обладнання

Обираємо 2 нагрівальні печі та чорнову і чистову прокатні кліті, які використовуються на виробництві. Отримано статистичні дані роботи обраного обладнання, але не враховано відмови обладнання. Тому наступним кроком буде додавання імітації відмов обладнання (рис.3).

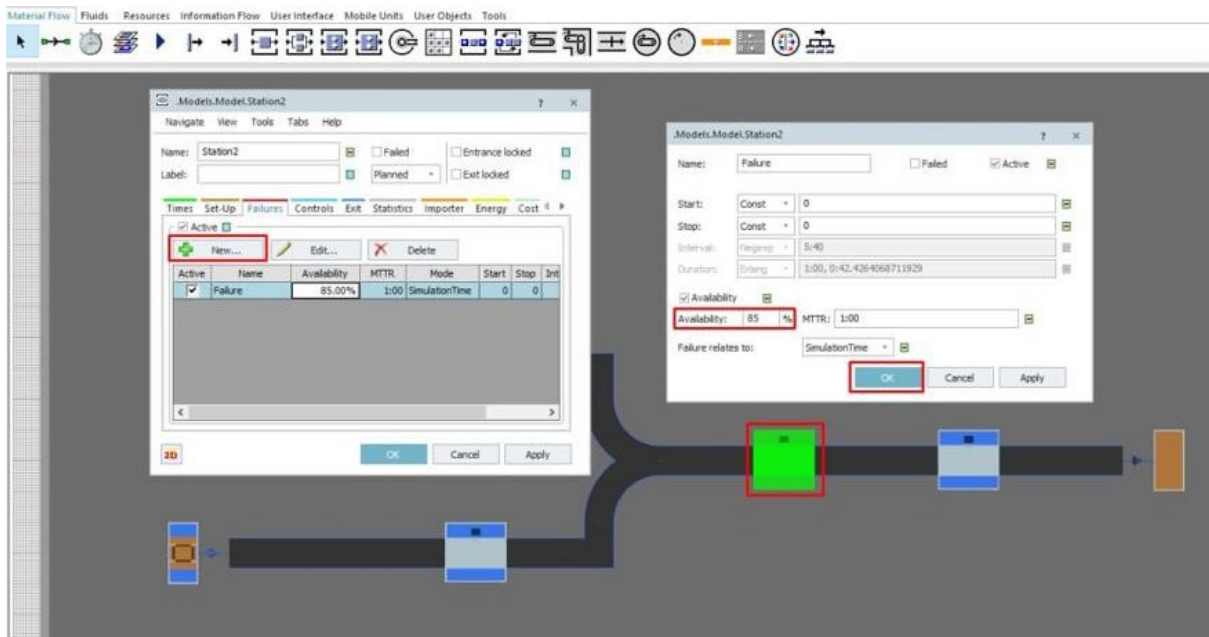


Рисунок 3 – Додавання імітації відмов у модель обладнання до модернізації

Згідно з статистичними даними відмова обладнання становить близько 15% з загального часу роботи. Комплекс автоматичної діагностики знижує частку відмов на 30 – 40 %, виходячи з цих даних відсоток відмов після модернізації буде дорівнювати близько 10%.

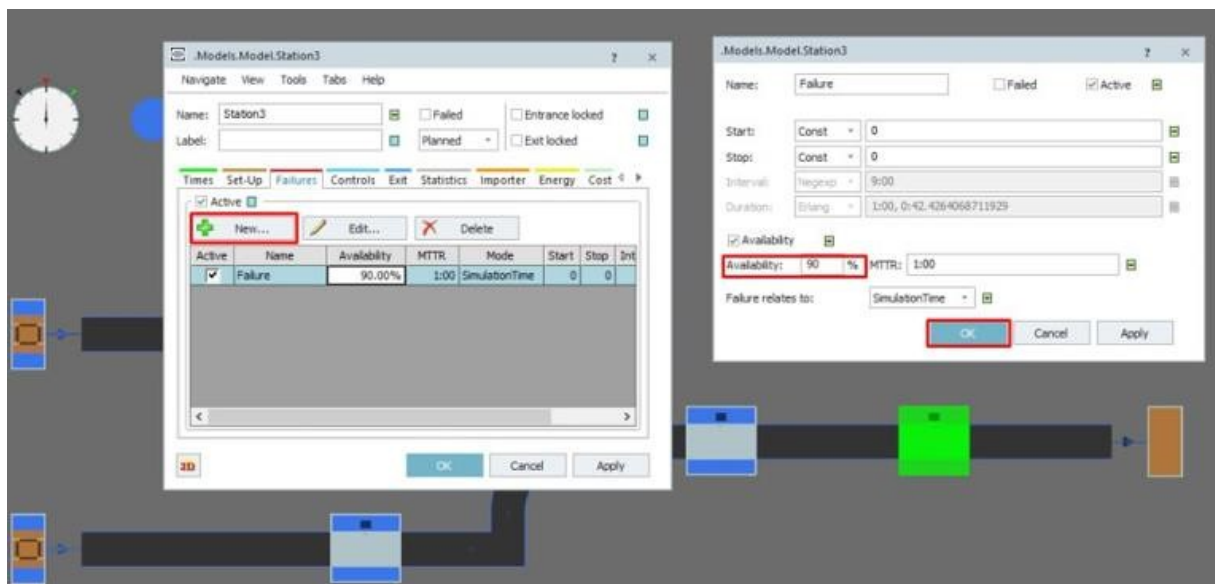
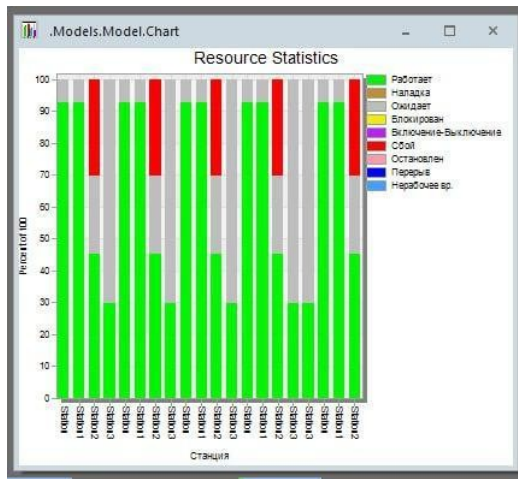
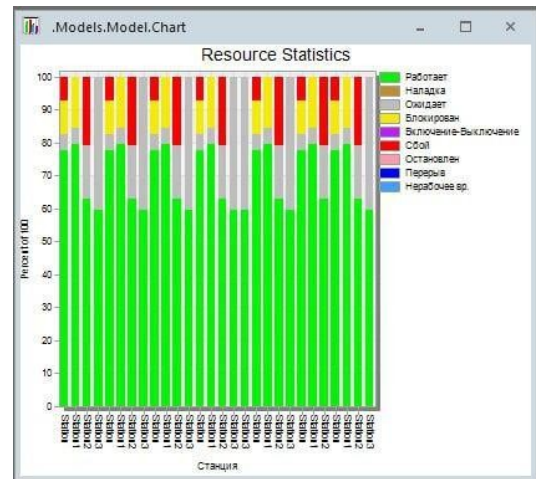


Рисунок 4 – Додавання імітації відмов у модель обладнання після модернізації



а)



б)

Рисунок 5 – Статистика завантаження обладнання після корекції моделей:
а) до модернізації; б) після модернізації;

Station та Station1 це нагрівальні печі, Station2 це чорнова кліть, Station3 це чистова кліть прокатного стану. Згідно показників діаграми після модернізації зросла кількість робочих годин, менше збоїв в роботі, зменшився режим очікування. Виходячи з цього, можна зробити висновок, що модернізація є доцільною і дає бажаний результат, а саме зменшення простоїв, аварій та режимів очікування, а паратно-програмні засоби вібраційної діагностики на базі стаціонарних систем, оснащених програмним забезпеченням з функціями автоматизованого розпізнавання технічного стану, при відповідному методологічному забезпеченні та адаптації можуть бути успішно використані для підвищення надійності експлуатації основного обладнання прокатних виробництв шляхом організації моніторингу технічного стану та діагностики.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Воронцов Б.С. Впровадження імітаційного моделювання логістики технологічних процесів в навчальний процес. *Форум інженерів механіків XXI МНТК “Прогресивна техніка, технологія та інженерна освіта”*, 2020. С. 231–237
2. Кришук А.С. Забезпечення роботи транспортної системи з міжопераційними накопичувачами у ГАВ:Магістерська дисертація. КІП ім. Ігоря Сікорського. 2018. 43 с. URL: https://ela.kpi.ua/bitstream/123456789/31115/5/Kryshhuk_magistr.pdf

Наукове електронне видання

ХНТУ АРМ – 2026

**Матеріали
XIII Всеукраїнської
науково-практичної конференції
здобувачів вищої освіти
та молодих вчених
з автоматичного управління
присвячена Дню ракетно-космічної галузі України**

Праці конференції

**ISBN 978-617-8187-77-4
(електронне видання)**



Підписано до друку 13.04.2026 р. Формат 60×84 1/8.
Гарнітура Times New Roman. Замовлення № 3263.

Книжкове видавництво ФОП Вишемирський В.С.
Свідоцтво про внесення до державного реєстру суб'єктів видавничої справи:
серія ХС №48 від 14.04.2005 р., видано Управлінням у справах преси та інформації
73000, Україна, м.Херсон, вул. Соборна, 2,
тел. +38050-133-10-13, e-mail: printvvs@gmail.com